

Aus dem Zentrum für Innere Medizin
(Direktor: Prof. Dr. med., Dr. med. vet. hc. H.G. Lasch)
und dem sportmedizinischen Institut
(Leiter: Prof. Dr. med. P.E. Nowacki
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**VERGLEICHENDE HERZ-KREISLAUF-
FUNKTIONSPRÜFUNGEN
BEI JUGENDLICHEN HANDBALLERN
MITTELS KÖRPERGEWICHTSBEZOGENER
AUSBELASTUNG AUF DEM
FAHRRADERGOMETER UND DEM
LAUFBAND**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Medizin des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Hans Jürgen Völpel
aus Gießen

Gießen 1980

Aus dem Zentrum für Innere Medizin
(Direktor: Prof. Dr. med., Dr. med. vet. hc. H.G. Lasch)
und dem sportmedizinischen Institut
(Leiter: Prof. Dr. med. P.E. Nowacki
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**VERGLEICHENDE HERZ-KREISLAUF-
FUNKTIONSPRÜFUNGEN
BEI JUGENDLICHEN HANDBALLERN
MITTELS KÖRPERGEWICHTSBEZOGENER
AUSBELASTUNG AUF DEM
FAHRRADERGOMETER UND DEM
LAUFBAND**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Medizin des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Hans Jürgen Völpel
aus Gießen

Gießen 1980



Dekan:	Prof. Dr. Ringleb
Betreuer der Arbeit:	Prof. Dr. Nowacki
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Nowacki
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Brück

Inhaltsverzeichnis

- I. Einleitung und Fragestellung
- II. Methodik
 - A. Untersuchungsgut
 - B. Untersuchungsbedingungen
 - 1. Maximale Fahrradspiroergometrie nach der Watt/kg-Methode
 - 2. Maximale Laufbandspiroergometrie nach der Watt/kg-Methode
 - C. Die physikalischen Grundlagen der körpergewichtszugehörigen Belastung auf dem Laufband
 - D. Beschreibung des modernen spiroergometrischen computer-gesteuerten Meßverfahrens nach der pneumotachographischen Methode im offenen System
 - E. Meßgrößen
 - 1. Wattleistung
 - 2. Herzschlagfrequenz
 - 3. Blutdruck
 - 4. Atemminutenvolumen
 - 5. Atemfrequenz
 - 6. Atemzugvolumen
 - 7. Die absolute Sauerstoffaufnahme
 - 8. Sauerstoffpuls
 - 9. Relative Sauerstoffaufnahme
 - 10. Atemäquivalent
 - 11. Respiratorischer Quotient (Ventilations-RQ)
 - 12. O_2 -Schuld
 - 13. Wirkungsgrad
 - F. Kritik der Methodik
 - G. Statistische Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

III. Ergebnisse

A. Vergleichende Untersuchungen von jugendlichen Handballspielern auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband.

1. Herzschlagfrequenz
2. Respiratorische Funktionsgrößen
 - a) Atemminutenvolumen
 - b) Atemzugvolumen
3. Bruttokriterien der Kardio-respiratorischen Leistungsfähigkeit
 - a) Absolute Sauerstoffaufnahme
 - b) Relative Sauerstoffaufnahme
4. Leistungsphysiologische Quotienten
 - a) Sauerstoffpuls
 - b) Atemäquivalent
 - c) Ventilations-RQ
5. Gegenüberstellung der Maximalwerte auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

IV. Diskussion der Ergebnisse

A. Unterschied der kardio-respiratorischen Funktionsprüfung bei jugendlichen Handballspielern bei vergleichender, maximaler Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband nach der Watt/kg-Methode

1. Summe der Gesamtarbeit unter Berücksichtigung der Belastungszeit
2. Wirkungsgrad
3. Herzschlagfrequenz
4. Blutdruck
5. Atemminutenvolumen
6. Absolute Sauerstoffaufnahme
7. Relative Sauerstoffaufnahme
8. Sauerstoffpuls
9. Atemäquivalent
10. Ventilations-RQ
11. Die 5-min-Sauerstoffschuld

- B. Aussagemöglichkeiten biologischer Leistungsgrößen bei Handballspielern.
- C. Diskussion des Vergleichs der Summe der Gesamtarbeit, der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme, des Sauerstoffpulses und des Atemminutenvolumens jugendlicher Handballer und Ruderer bei erschöpfender Ausbelastung auf dem Fahrrad- und Laufbandergometer.

V. Zusammenfassung

VI. Literaturverzeichnis

VII. Tabellen

VIII. Lebenslauf

I Einleitung und Fragestellung

Die Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowohl in der Klinik als auch in der Sportmedizin hat durch die Spiroergometrie eine physikalisch standardisierte, vergleichbare Methode gewonnen. Dies ist das besondere Verdienst von KNIPPING (38 - 44), der diese Methode in die Klinik einführte. In der Sportmedizin beschäftigten sich besonders REINDELL (76), MELLEROWICZ (49), HOLLMANN (34) und NOWACKI (66) mit der Spiroergometrie. Unter dem Begriff Spiroergometrie verstehen wir die spezielle kardiopulmonale Funktionsdiagnostik unter submaximaler oder maximaler Belastung. Dabei werden die Leistungsreserven von Herz, Kreislauf und Atmung exakt quantitativ erfaßt und können einige Zeit später erneut unter den gleichen standardisierten Untersuchungsbedingungen überprüft werden (Reproduzierbarkeit der Methode nach MELLEROWICZ 55). Den Nutzen dieses Untersuchungsverfahrens kann man in folgende Hauptpunkte zusammenfassen:

1. Frühdiagnose einer kardiopulmonalen Insuffizienz
2. Beurteilung des Therapieerfolges (Medikamenteneffekt, Bewegungstherapie, Rehabilitation)
3. Begutachtung der kardiopulmonalen Leistungssituation (präventive Untersuchung, Gutachten, Sportleruntersuchung ohne und mit Kontrolle eines Trainingseffektes)
4. Forschung zur Abklärung physiologischer oder pathophysiologischer Geschehnisse (z.B. Arbeitsuntersuchungen am gesunden oder kranken Menschen vom Kindes- bis zum Greisenalter unter normalen oder anormalen Umweltbedingungen)

HOLLMANN(23) führte 1955 die Fahrradergometriearbeit im Sitzen in die KNIPPINGSche Schule ein. Diese Belastungsart hat sich in den letzten 20 Jahren bei uns mehr und mehr durchgesetzt. Demgegenüber sind in den USA fast nur Laufbanduntersuchungen durchgeführt worden. In Deutschland bestanden gegen die Laufbandergometrie folgende Einwände:

1. Die Belastung ist nicht exakt dosierbar. Durch unterschiedliche Schrittlänge sowie durch unterschiedliche gute Koordination der Bewegungen (z.B. Differenzen in der Hebung und Senkung des Körperschwerpunktes) entstehen erhebliche Wirkungsgradunterschiede, die sich entsprechend auf den

Sauerstoffverbrauch und die übrigen kardiopulmonalen Kriterien bei gleicher gegebener Laufbandgeschwindigkeit und Steigungswinkel auswirken. Die statistische Streubreite der Sauerstoffaufnahme ist schon in den niederen Arbeitsstufen für das Laufen nahezu doppelt so groß wie für das Radfahren im Sitzen (ASTRAND 5).

2. Die Belastung ist nicht exakt reproduzierbar. Hierfür gelten dieselben Gründe wie oben. Der Wirkungsgrad kann sich von Untersuchung zu Untersuchung ändern. Treten bei Vergleichsuntersuchungen, die sich über mehrere Wochen erstrecken, noch Gewichts-differenzen hinzu, so läßt sich selbst für denselben Probanden keine Reproduzierbarkeit nachweisen.
3. Die Variationsmöglichkeit der Dosierung ist gering. Da das volle Körpergewicht von vornherein den wesentlichen Teil der Belastungsgröße darstellt, kann der Kraftaufwand nicht bei Null beginnen, sondern erst bei einer Stufe, die das Körpergewicht heben kann. Infolgedessen sind niedrigere Belastungsstufen nicht einstellbar. Außerdem klagen ältere Personen über Beschwerden in den Gelenken beim Laufen.
4. Die Anschaffungskosten für Laufbandergometer liegen wesentlich höher als die von Fahrradergometern.
5. Ein Laufbandgerät nimmt im Labor einen weitaus größeren Raum ein als ein Fahrradergometer. Außerdem ist seine Pflege aufwendiger und teurer. Bei der Untersuchung muß mehr Personal eingesetzt werden.

Andererseits kann ein Laufband gegenüber Tretkurbelergometern auch Vorteile aufweisen.

1. Ein sehr zuverlässiges Kriterium zur Beurteilung der kardiopulmonalen Kapazität eines Menschen ist die maximale Sauerstoffaufnahme pro Minute (NOWACKI 63). Ihre höchsten Werte werden beim Laufen erreicht und hier speziell beim Bergauflaufen mit einem Winkel von 3 - 9 Grad (HOLLMANN 30). Die bei der Fahrradergometerarbeit im Sitzen gewonnenen Werte liegen darunter, es folgen diejenigen der Tretkurbelarbeit im Stehen (Handkurbel) und an letzter Stelle die Tretkurbelarbeit im Liegen.

2. Im Bereich der maximalen Belastung reguliert das Laufband zwangsläufig den Energieaufwand des Organismus pro kg Körpergewicht als Folge der eingestellten Geschwindigkeit und des Anstiegswinkels. Es kann im Grenzbereich der Leistungsfähigkeit nicht, wie bei Dreh- und Tretkurbelarbeit, die Probandenleistung kurzfristig hinter dem Sollwert zurückbleiben, wie es häufig im maximalen Leistungsbereich zu beobachten ist.
3. Gehen und Laufen stellen die natürlichsten Bewegungsformen dar, auf die ein Proband geprüft werden kann.
4. Für spezifische Forschungsfragen, wie z.B. für ein spezifisches Gehtraining bei peripheren arteriellen Durchblutungsstörungen oder die Prüfung der sportartspezifischen Leistung bei den laufintensiven Sportarten, kann das Laufband gegenüber dem Fahrrad von Vorteil sein.

Während nun für die Fahrradergometrie seit Jahren standardisierte Belastungsprogramme existieren, die zuverlässige Kriterien für den maximalen Bereich festlegen, gibt es in der Laufbandergometrie eine solche Standardisierung bisher nicht. Vielmehr versucht jeder Autor mit Hilfe seiner eigenen empirisch ermittelten Belastungssteigerungsstufen in den maximalen biologischen Leistungsbereich der Probanden hineinzukommen. Dabei werden methodisch uneinheitlich und unübersichtlich einmal die Laufbandgeschwindigkeit, der Steigungswinkel des Laufbandes oder in anderen Arbeiten Steigungswinkel und Laufbandgeschwindigkeit gleichzeitig variiert (z.B. HOLLMANN 30, MIYAMURA 57, BACHL 6).

Wir haben im Sportmedizinischen Institut der Universität Giessen eine vergleichende körpergewichtsbezogene kardiorespiratorische Leistungsprüfung jugendlicher Handballer auf dem Laufband- und Fahrradergometer durchgeführt. Folgende offene Fragen sollten dabei durch diese experimentellen Untersuchungen geklärt werden:

1. Können jugendliche Handballspieler ihre mittels maximaler Fahrradspiroergometrie gewonnenen Daten bei einer maximalen Laufbandspiroergometrie noch verbessern oder nicht?
2. Welchen Stellenwert hat eine körperrgewichtsbezogene Belastung auf dem Laufband im Vergleich zu einer körperrgewichtsbezogenen Belastung auf dem Fahrrad im Sitzen hinsichtlich Diagnose und Prognose der wettkampfspezifischen Leistung für jugendliche Handballspieler?
3. Wie reagiert das kardiorespiratorische System bei submaximaler und maximaler Laufband- und Fahrradergometriebelastung?
4. Bewährt sich das körperrgewichtsbezogene Belastungsverfahren nach der Watt/kg-Methode, so wie es von NOWACKI (73) für die Fahrradergometrie durchgeführt wird, auch für die Laufbandergometrie?

Die dabei gewonnenen Leistungsdaten sowie die technischen, methodischen und sportmedizinischen Probleme, die sich bei der Untersuchung dieses relativ homogenen Leistungssportlerkollektivs ergeben, werden in der vorliegenden Dissertation dargelegt und diskutiert.

Parallel zu diesen Experimenten hat P. ROSENTHAL (79) in seiner Dissertationsarbeit u.a. diese Fragestellung für jugendliche Ruderer untersucht. Wegen des großen methodischen Aufwandes (speziell personell) bei den Laufband-Spiroergometrien haben wir (ROSENTHAL, VÖLPEL) die experimentelle Datenerhebung bei den Handballspielern und Ruderern gemeinsam durchgeführt. Dadurch können die für meine Dissertation wichtigsten Ergebnisse bei den Ruderern in der Diskussion mitherangezogen werden.

II Methodik

A) Untersuchungsgut

Die Untersuchungen erfolgten zwischen März und Dezember 1977 im Sportmedizinischen Institut der JLU Gießen und in der "Kaiserberg-Klinik" (Pitzer KG) in Bad Nauheim (damaliger Chefarzt: Prof. Dr. P.E. Nowacki).

Zuerst wurden die Probanden auf dem Fahrradergometer untersucht, da dies methodisch einfacher war. Außerdem waren danach auf dem Laufband die Probanden sicherer, und wir waren in der Lage, durch die vorangegangenen Untersuchungen auf dem Fahrrad die Leistungsfähigkeit auf dem Laufband ungefähr vorauszu- sehen.

Die Untersuchungsgruppe setzt sich aus 16 Handballspielern im Alter von 16 - 18 Jahren zusammen, die zum großen Teil der A- und B-Jugendmannschaft des TV-Hüttenberg angehörten, zusätzlich drei Spieler der Jugend des TSV Dutenhofen. Jeder Sportler wird vorgestellt mit Angabe seines Alters zum Testzeitpunkt, seiner Körpergröße und seines Körpergewichts und seiner Sportanamnese. Zum Abschluß werden die Durchschnittswerte der Handballer für Alter, Größe und Gewicht mitgeteilt.

1) Die A-Jugendlichen des TV-Hüttenberg:

Die A-Jugend stand in der Saison 77/78 im Deutschen Endspiel, das sie nach einem Regelverstoß mit einem Tor verlor. Wegen dieses Regelverstoßes (Zeitüberschreitung der ersten Halbzeit) wurde Protest eingelegt, dem vom Deutschen Handballbund stattgegeben wurde. Leider konnte das Wiederholungsspiel wegen Terminschwierigkeiten nicht durchgeführt werden, so daß es in der Saison 77/78 keinen "Deutschen Meister" bei der A-Jugend gab. Auf jeden Fall gehörte die A-Jugend 1978 mit der ohne Entscheidung gebliebenen Endspielqualifikation neben der A-Jugend von Grün-Weiß Dankersen zu den beiden besten deutschen Jugendmannschaften.

H.G. We	: 18 Jahre	Größe 181.0 cm	Gewicht 79.6 kg
M. Bra	: 17 Jahre	Größe 186.5 cm	Gewicht 74.3 kg
Th. Bi	: 18 Jahre	Größe 181.5 cm	Gewicht 71.0 kg
R. Se	: 17 Jahre	Größe 177.0 cm	Gewicht 72.5 kg
H.P. Sch	: 17 Jahre	Größe 189.0 cm	Gewicht 79.9 kg
V. Ma	: 17 Jahre	Größe 183.0 cm	Gewicht 82.4 kg
A. Ba	: 18 Jahre	Größe 173.0 cm	Gewicht 75.0 kg

2) B-Jugend des TV-Hüttenberg:

Die B-Jugend des TV-Hüttenberg wurde in der Saison 77/78 Deutscher Handballmeister.

Th. Gi	: 15 Jahre	Größe 164.0 cm	Gewicht 50.4 kg
E. Ma	: 16 Jahre	Größe 176.5 cm	Gewicht 66.9 kg
E. Ag	: 15 Jahre	Größe 185.0 cm	Gewicht 69.5 kg
J. Ju	: 16 Jahre	Größe 171.0 cm	Gewicht 67.4 kg
Fr. Fa	: 15 Jahre	Größe 179.0 cm	Gewicht 64.4 kg
St. Fa	: 15 Jahre	Größe 180.5 cm	Gewicht 72.0 kg

3) Jugendliche des TSV-Dutenhofen

Die A-Jugend des TV-Hüttenberg wurde nur einmal zu Beginn der Spielrunde geschlagen und zwar von den Jugendlichen des TSV Dutenhofen.

Fr. Bi	: 16 Jahre	Größe 178.5 cm	Gewicht 63.0 kg
V. Sch	: 16 Jahre	Größe 187.5 cm	Gewicht 73.0 kg
M. Sch	: 16 Jahre	Größe 171.5 cm	Gewicht 65.6 kg

Das Durchschnittsalter aller untersuchten Handballer beträgt 16.4 Jahre, die Durchschnittsgröße 178.8 cm, das Durchschnittsgewicht 70.4 kg.

Die Untersuchungen auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband erfolgten nach der körperrgewichtsbezogenen Belastungsmethode unter Vita-maxima-Bedingungen.

Die Jugendlichen absolvierten einheitlich ein Trainingsprogramm von 4 Stunden/Woche, vor der Deutschen Meisterschaft 5 Stunden/Woche.

Auf einem eigens für unsere Zwecke ausgerichteten Untersuchungsbogen wurden die Befunde registriert.

A L L G E M E I N B E F U N D

Name: Weber Vorname: Hans Georg geb.: 10.8.59
Gewicht: 79.6 kg Größe: 183.5 cm Vitalkapazität: 5500 cm³
Nasen-Rachenraum: Inspektion o.B., keine subj. Beschwerden
Zähne: Gebiß saniert
Lunge: auskultatorisch und perkutorisch o.B.
Herz und Kreislauf: auskultatorisch und perkutorisch o.B.
Bauchdecke, Abdominalorgane: palpatorisch o.B., Milz und Leber
nicht tastbar, reizlose Narbe nach OP einer Inguinalhernie rechts
Urogenitalsystem: Inspektion und Palpation o.B. keine subj. Beschwerden
.....
Besondere Befunde: keine

HALTUNGS- u. BEWEGUNGSAPPARAT
(Beurteilung durch Sportarzt)

Rumpf: (Thoraxdeformität) keine Deformitäten oder Haltungsanomalien
Becken: keine Deformitäten oder Beckenschiefstand
Wirbelsäule: nicht klopfschmerzhaft, leichte linkskonvexe Skoliose
Extremitäten: vom Aspekt her unauffällig
Besondere Befunde: keine
Röntgen erforderlich: nein
Vorst. Facharzt erforderlich: nein
Datum

Verantl. Arzt

Die sorgfältige internistische und orthopädische Untersuchung mit Ruhe-EKG (mit Ableitungen I, II, III nach Einthoven, aVR, aVL, aVF nach Goldberger und $V_1 - V_6$ nach Wilson) ergab, daß alle Sportler ohne Einschränkung als sportgesund bezeichnet werden konnten, so daß bei ihnen eine maximale Spiroergometrie bis zur Erschöpfung durchgeführt werden konnte.

Die jugendlichen Handballer waren ausnahmslos gut motiviert, sich maximal zu belasten. Es kam in keinem Fall zu einem vorzeitigen Abbruch des Versuches wegen mangelndem Leistungswillen. Alle Testergebnisse jedes einzelnen Probanden wurden noch am Tag der Untersuchung mit den Jugendlichen und den Trainern ausführlich besprochen und ggf. eine Umstellung des Trainings empfohlen.

B) Untersuchungsbedingungen

1) Maximale Fahrradspiroergometrie nach der Watt/kg-Methode

Die Auswahl der Untersuchungsmethodik erfolgte nach den Standardisierungsvorschlägen zur ergometrischen Leistungsmessung, wie sie bei der Tagung des Forschungskomitees des ICSPE zur internationalen Standardisierung der Ergometrie während des 16. Weltkongresses für Sportmedizin am 14.6.1966 in Hannover vereinbart wurden (54). Der Meßplatz setzte sich zusammen aus dem Fahrradergometer "Ergotest" der Fa. E.Jaeger, dem Lungenfunktionsplatz mit angeschlossener Datenverarbeitung und Direktschreiber, bestehend aus den Einheiten "Ergo-Pneumotest" und "Dataspir" der Fa. E.Jaeger, Würzburg und "Editor 456" und "P 652" der Fa. Olivetti und dem EKG-Registriergerät "Multiscripter EK 26" der Fa. Hellige, Freiburg.

Nach Erhebung der Anamnese und Abschluß der klinisch-internistischen Untersuchung wurden die Probanden über die Art der Belastungssteigerung und über die Funktionsweise des Fahrradergometers unterrichtet. Durch diese Unterweisung sollten überschießende psychische Reaktionen der Probanden vermieden werden. Die Versuchspersonen trugen während des Tests kurze Hosen und hatten Turnschuhe an. Nachdem die Probanden auf dem Fahrradergometer saßen und die optimale Sattelhöhe eingestellt

war, wurde ihnen eine Halbmaske mit einem 1,2 m langen Schlauch, welcher an das Meßsystem angeschlossen war, so angepaßt, daß keine Luft nach außen entweichen konnte. Über ein Ventil wurde Zimmerluft eingeatmet, die Ausatmung erfolgte durch den Schlauch in ein Pneumotachographenrohr (weitere Einzelheiten werden später besprochen).

Die Herzschlagfrequenz wurde elektrokardiographisch bestimmt. Die Elektroden, die mit dem EKG-Gerät verbunden waren, wurden an dem "Thorax-Gummiband" über den Ableitungspunkten $V_{4,5,6}$ befestigt. Um unter Ruhebedingungen zu beginnen und eine Hyperventilation zu vermeiden, wurde bis zu Beginn der Messungen noch ca. 5 min. bis zur Beruhigung der Probanden abgewartet. Bevor die Belastungszeit auf dem Fahrradergometer im Sitzen begann, wurde der Ruhe-Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen, und die Ruhewerte der zu bestimmenden Parameter registriert. Die Fahrradergometerarbeit im Sitzen wurde von den Probanden nach der Methode von NOWACKI (67) geleistet. Dabei erfolgte eine gewichtsbezogene Belastung, wobei die Belastung, beginnend bei 1 Watt/kg, alle zwei Minuten um jeweils 1 Watt/kg bis zur Erschöpfung der Probanden gesteigert wurde. Dieses Belastungsverfahren bietet den Vorteil, daß es sowohl eine rasche zeitliche Ausbelastung, als auch eine genaue Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit ermöglicht.

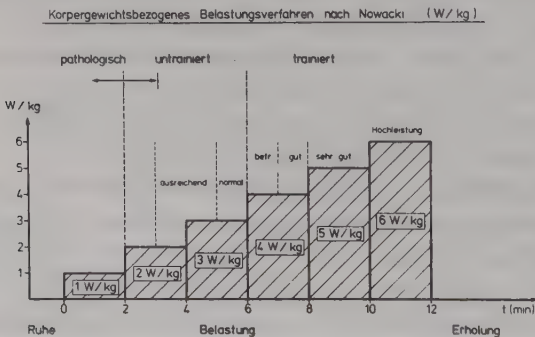


Abb. 1: Belastungsverfahren Watt/kg Körpergewicht auf dem Fahrradergometer (sitzend) mit Beurteilung der Leistung.

Während der Belastung waren die Versuchspersonen jederzeit in der Lage, ihre Wattleistung und optimale U-Zahl über Kontrollanzeiger abzulesen.

Mit den Ableitungen I, II und III nach EINTHOVEN und V_4 , V_5 und V_6 nach WILSON registrierten wir die elektrokardiographischen Kurven, die aber lediglich geschrieben wurden, um die Herzschlagfrequenz der Versuchspersonen jeweils zwischen der 50. und 60. Sekunde jeder Minute zu ermitteln. Das Ergo-EKG zeigte bei keinem Probanden einen pathologischen Stromverlauf.

Während der Fahrradergometerbelastung wurde die Registrierung der anfallenden Meßdaten über einen Analog-Digitalwandler in der on-line Datenverarbeitung und durch die in Abständen von 30 oder 60 Sekunden numerischen Datenausgabe einer modernen Computer-Ergometrie ermöglicht.

Am Ende der ersten beiden Belastungsstufen auf dem Fahrradergometer konnte der Blutdruck nach Riva-Rocci auskultatorisch ermittelt werden. Danach war es aus versuchstechnischen Gründen nicht mehr möglich, da der Proband seinen rechten Arm kontinuierlich wegen der ansteigenden Belastung an der Lenkstange festhalten mußte. Auskultatorische Messungen des RR sind dann wegen der Muskelanspannung nicht mehr zuverlässig (MAIDORN 48). Die Beendigung der Belastung erfolgte von den Versuchspersonen selbst nach subjektiven Kriterien oder erfolgte von den Untersuchern, die sich nach den Empfehlungen von MELLEROWICZ (55) orientierten. Nach der Belastungsphase auf dem Fahrradergometer schloß sich eine 5-Minuten-Erholungsphase an. Während der Erholungsphase konnte der Blutdruck in jeder Minute auskultatorisch nach Riva-Rocci ermittelt werden.

2) Maximale Laufbandspiroergometrie nach der Watt/kg-Methode

Zwischen den beiden Belastungsuntersuchungen auf dem Fahrrad- und Laufbandergometer lag für jeden Probanden eine Zeitspanne von mindestens einer Woche. Die Laufbandbelastung erfolgte auf dem Hochleistungslaufband-Ergometer "Laufergotest" der Fa. Jaeger, Würzburg.

Bevor sich die Versuchspersonen der Laufbandergometerbelastung unterzogen, wurden sie eingehend über die Funktionsweise des Laufbandergometers unterrichtet. Nachdem den Probanden die Halbmaske mit Atemschlauch, welcher mit dem Meßplatz verbunden war, angepaßt war und das "Thorax-Gummiband" mit den Elektroden angelegt wurde, erfolgte die Messung der Ruhewerte der zu

bestimmenden Parameter, sowie die Registrierung des Ruhe-Blutdrucks auskultatorisch nach Riva-Rocci im Stehen.

Für die Ruhephase am Beginn der Belastung galten für alle Probanden die gleichen Bedingungen wie bei der Untersuchung auf dem Fahrrad. Auch hier, bei der Laufbandergometerbelastung, wurde die Untersuchung erst dann begonnen, als sich unsere Meßgrößen auf normale Ruhewerte eingespielt bzw. diesen genähert hatten.

Bei der Laufbandergometeruntersuchung verzichteten wir aus versuchstechnischen Gründen auf die Extremitätenableitung I, II und III nach EINTHOVEN und registrierten die Herzaktionen der Probanden während der Belastungs- und Erholungsphase durch die Brustwandableitungen $V_4 - V_6$ nach WILSON, die Extremitätenableitungen und das indifferente Erdungskabel wurden hinten am Thorax mit dem gleichen Thoraxgummiband befestigt. Somit waren von links nach rechts beginnend bei der Herzspitze zirkulär befestigt $V_{4,5,6}$, I, II, III und das indifferente Kabel. Diese Ableitungen dienten uns lediglich zur Bestimmung der Herzfrequenz.

Den zuverlässigen Sitz der Elektroden während der gesamten Versuche sicherten wir durch eine spannungsfreie Führung der Elektrodenkabel. Ein Schultergurt, der am "Thorax-Gummiband" befestigt war (Elektrodengummigürtel), gewährleistete den guten Sitz des Thoraxgummibandes im Sinne einer Hosenträgerbefestigung.

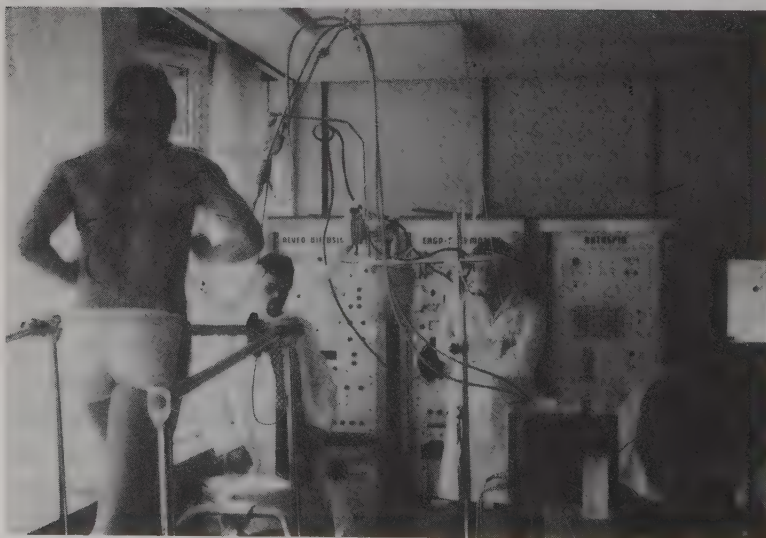


Abb. 2: Laufbandergometer mit Probanden

Die Belastung auf dem Laufband erfolgte ebenfalls durch ein körpertgewichtsbezogenes Belastungsverfahren.

Die Lauffläche des Laufbandes gab allen Probanden in allen Belastungsstufen die gleiche Geschwindigkeit von 9 km/h vor. Steigende Belastungen wurden dadurch erzielt, daß die Steigung des Laufbandes erhöht wurde und zwar in folgender Weise:

I. Stufe	9 km/h	1 % Steigung	= 1/4 Watt/kg
II. Stufe	"	4 % Steigung	= 1 Watt/kg
III. Stufe	"	8 % Steigung	= 2 Watt/kg
IV. Stufe	"	12 % Steigung	= 3 Watt/kg
V. Stufe	"	16 % Steigung	= 4 Watt/kg
VI. Stufe	"	20 % Steigung	= 5 Watt/kg

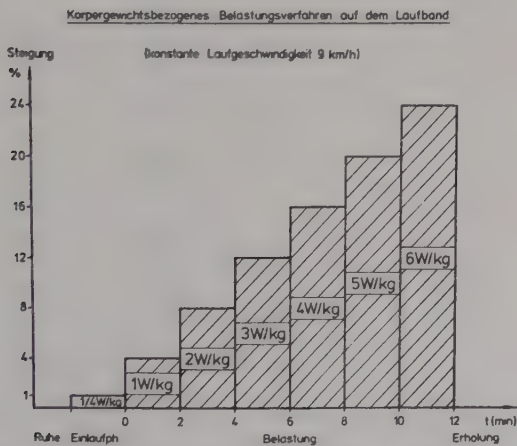


Abb. 3: Körpergewichtsbezogenes Belastungsverfahren auf dem Laufband.

In den ersten beiden Minuten der Erholungsphase ließen wir die Probanden mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h und einer Steigung von 4 % gehen, um orthostatische Regulationsstörungen zu vermeiden.

Die letzten 3 Erholungsminuten verbrachten die Probanden auf einem Hocker sitzend auf dem Laufband. Während der Erholungsminuten wurde zusätzlich zu den anderen Meßdaten noch der Blutdruck nach Riva-Rocci auskultatorisch am Ende einer jeden Erholungsminute gemessen.

Während der Belastungsperioden konnten keine Blutdruckwerte registriert werden. Wie bei der Fahrradergometerarbeit wurde auch die Herzschlagfrequenz der Versuchspersonen in jeder Minute festgehalten und sofort mit einer standardisierten Meßplatte aus dem Abstand von 3 Herzaktionen ausgewertet. Gleichzeitig wurde die Hf kontinuierlich über die volle Minute vom EKG-3fach-Schreiber (Fa. Hellige) über eine Telemetrie-Meßeinheit in der computergesteuerten Rechenanlage des Meßplatzes registriert. Zwischen beiden Methoden ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung (Schwankungsbereich lediglich ± 2 Hf). Blutdruck, Herzschlagfrequenz, Daten des jeweiligen Probanden und Bemerkungen über den Versuchsablauf wurden auf dem Protokollbogen für die Laufband-Spiroergometrie festgehalten.

PROTOKOLLBOGEN

Name: Weber Vorname: Hans Georg geb.: 10.8.59
Gewicht: 79.6 kg; Größe: 83.5 cm; Kör.-Ofl.: m²
Datum: 16.6.77

Zeit: Min.	RR	Hf/EKG	Leistung/Watt	Bemerkungen
Ruhe	130/90	83	v = 9 km/h	guter Laufrhythmus

LEISTUNG

1	145	
2	152	1 %
3	165	
4	167	4 %
5	175	8 %
6	180	
7	185	12 %
8	187	
9	189	16 %
10	195	
11		
12		

ERHOLUNG

1	200/70	170
2	195/85	137
3	175/90	135
4	165/90	130
5	150/90	117

Ruhe-EKG: o.B. Ergo-EKG: a) Fahrradergometer: o.B.

b) Laufbandergometer: keine ES

Für die Beendigung der Laufbandergometerarbeit wandten wir die gleichen Kriterien an wie bei der vorangegangenen Versuchsserie auf dem Fahrradergometer.

Die anfallenden Meßdaten wurden wie bei der Fahrradergometerbelastung über einen Analog-Digitalwandler mittels der computer-gesteuerten Schreibmaschine festgehalten.

C) Die physikalischen Grundlagen der körperrgewichtsbezogenen Belastung auf dem Laufband.

Ausgehend von der physikalischen Formel für die Arbeit an der Schiefen Ebene

$$L \text{ (Leistung)} = G \text{ (Körperrgewicht)} \cdot v \text{ (Geschwindigkeit)} \cdot \sin \alpha \quad \text{(KEIDEL 37)}$$

haben STAADEN, WETTIG, ZIMMER, NOWACKI (86) für verschiedene Laufbandgeschwindigkeiten und verschiedene Steigungswinkel α

die physikalische Leistung berechnet, die ein Proband auf dem Laufband überwinden muß.

Die Umstellung der Formel ergibt:

$$\frac{L}{G} = v \cdot \sin \alpha$$

Dadurch wird eine körperrgewichtsbezogene Leistungsberechnung möglich. Analog der physikalischen körperrgewichtsbezogenen Leistungsvorgabe auf dem Fahrradergometer kann eine solche jetzt auch auf dem Laufband vorgegeben werden.

Zur Berechnung im einzelnen:

Für den linken Teil der Gleichung setzt man 1 Watt/kg, 2 Watt/kg, 3 Watt/kg ... usw. Im rechten Teil der Gleichung wird einmal die Geschwindigkeit des Laufbandes $v = \text{konst.}$ gesetzt und der Neigungswinkel α so variiert, daß das Produkt aus $v \cdot \sin \alpha$ dem jeweiligen vorgegebenen Wert für Watt/kg Körpergewicht entspricht.

Eine andere Möglichkeit ergibt sich, wenn man den Neigungswinkel α konstant hält und die Laufbandgeschwindigkeit v so variiert, daß das Produkt $v \cdot \sin \alpha$ gleich dem vorgegebenen Wert für Watt/kg ist

Als Ergebnis über Berechnungen stellten sie folgende Tabellen auf:

Tabelle 1: BELASTUNGSMÖGLICHKEITEN AM LAUFBAND

$\frac{\text{Watt}}{\text{kg}}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Steigung in %
1	9	7,2	6	5,2	4,5	4	3,6	3,25	3	
2	18	14,4	12	10,4	9	8	7,2	6,5	6	
3	27	21,6	18	15,6	13,5	12	10,8	9,75	9	
4	36	28,8	24	20,8	18	16	14,4	13	12	
5	45	36	30	26	22,5	20	18	16,25	15	

konstante Geschwindigkeit, steigende Laufbandneigung

Tabelle 2:

Steigung	4	4,5	6	8	9	10	12	km/h
1	9	8	6	4,5	4	3,6	3	
2	18	16	12	9	8	7,2	6	
3	27	24	18	13,5	12	10,8	9	
4	36	32	24	18	16	14,4	12	
5	45	40	30	22,5	20	18	15	

konstante Laufbandneigung, steigende Geschwindigkeit

Wie die obige Formel für die Leistung an der schiefen Ebene zeigt, ist die Leistung nur für Werte von $\sin \alpha > 0$ definiert, d.h. das Laufen in der Ebene ist physikalisch nicht definierbar.

D) Beschreibung des modernen spiroergometrischen computer-gesteuerten Meßverfahrens nach der pneumotachographischen Methode im offenen System.

Datenerfassung, Datenanalyse und Datenverarbeitung bei der Ergospirometrie erfolgte nach dem pneumotachographischen Prinzip, d.h. im offenen System werden die Atemgrößen registriert, und weiterhin werden die Sauerstoff- und Kohlendioxyd-Konzentration einschließlich des Ventilations-RQ nach der Wärmeleitmethode mit einer Anzeigenverzögerung von 30 Sekunden gemessen.

Im Sportmedizinischen Forschungs- und Untersuchungszentrum Gießen benutzten wir den spiroergometrischen Meßplatz der Firma E. Jäger, Würzburg. Die Probanden wurden hier am Fahrradergometer und auf dem Laufband belastet. Die Anpassung der biologischen Registriergeräte an computer-gesteuerte Rechenanlagen ermöglicht unmittelbar nach der Leistungsprüfung eine genaue Analyse der biologischen Leistungsdaten. Prinzipiell setzt sich die Anlage zusammen aus Apparaturen zur Erfassung der Atemvolumina und solchen zur Analyse der Atemgase.

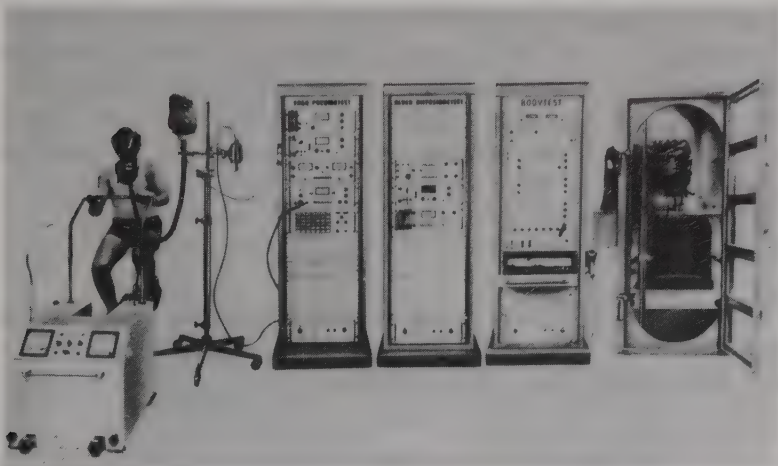


Abb. 4: Kompletter Meßplatz zur kardiorespiratorischen Diagnostik im "offenen System" der Firma E.Jäger, Würzburg.

E) Meßgrößen

1. Leistung in Watt und Belastungszeit

Die physikalische Leistung in Watt wurde mit dem Universal-Ergometer "Ergotest" nach dem Dynamoprinzip der Firma E.Jäger, Würzburg, gemessen. Die von den Probanden geleistete Arbeit wurde auf einer geeichten Skala, die von 0 - 600 Watt reicht, registriert. Die Zeitnahme erfolgte durch die Stoppuhr.

2. Herzschlagfrequenz

Die Herzschlagfrequenz wurde mit Hilfe des Dreifachschreibers - Elektrokardiogramm "Cardiomat" der Firma Hellige, Freiburg i.Brsg., ermittelt.

Während der Fahrrad- und Laufbandbelastung wurde in jeder Ruhe-, Belastungs- und Erholungsminute von den Brustwandableitungen V_4 , V_5 , V_6 nach Wilson die Pulsfrequenz zwischen der 50. und 60. Sekunde registriert. Zusätzlich konnte die Herzfrequenz durch direkte Verarbeitung der anfallenden Meßdaten mit Hilfe eines Analog-Digitalwandlers unmittelbar am Meßplatz "Ergo-Pneumotest" der Firma E.Jäger, Würzburg, telemetrisch beobachtet werden.

3. Blutdruck

Die systolische und diastolische Blutdruckmessung erfolgte mit der Auskultationsmethode nach "Korotkow". Mit Hilfe des Sphygmomanometers von "Riva Rocci", einer 15 cm breiten Druckmanschette nach "von Recklinghausen" und eines Schlauchstethoskopes wurde der arterielle Druck an der Arteria brachialis am Oberarm in Ruhe, in den letzten 20 sec. jeder 2. Belastungsminute bis zum submaximalen Leistungsbereich (nur Fahrradergometer) und in jeder Erholungsminute gemessen. Nach ANSCHÜTZ und DRUBE (2) beträgt die Fehlerbreite dieser Methode in Ruhe $\pm 10\%$.

Während der Belastung und in den ersten Erholungsminuten werden erheblich größere Streuungen, vor allem des diastolischen Blutdrucks (MELLEROWICZ 53), zu erwarten sein.

4. Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen wird mit dem offenen System "Pneumotest" als Teil des kompletten Meßplatzes zur kardiorespiratorischen Diagnostik im offenen System nach E.Jäger, Würzburg, registriert.

Der Proband wird über eine Halbmaske an die Anlage angeschlossen. Bei Inspiration atmet er über ein widerstandsarmes Einlaßventil Außenluft ein. Die Expirationsluft gelangt über ein gleichgebautes Auslaßventil und einen beweglichen 1.2 m langen Schlauch zum Pneumotachographenrohr und schließlich in die Mischkammer. Die Anordnung der Ventile an der Atemmaske ermöglicht eine nahezu tottraumfreie Atmung.

Prinzipiell beruhen die Pneumotachographen auf dem Hagen - Poiseulleschen Gesetz, wobei bei laminarer Strömung in einem engen, starren Rohr der Durchfluß von Luft oder Flüssigkeit dem Energieverlust pro Längeneinheit proportional ist. Diese Energieverluste, d.h. des Druckunterschieds zwischen zwei Punkten der Röhre, werden registriert durch eine Differentialkurve, dem Pneumotachogramm, deren Ordinatenwerte die Geschwindigkeit des Luftstroms darstellen. Um eine lineare Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Druckunterschied zu gewährleisten, muß eine Wirbelbildung vermieden werden. Die Wirbelentstehung wird im Pneumotachographen dadurch ausgeschaltet, daß der Luftstrom auf eine große Zahl von engen parallel geschalteten Röhren aufgeteilt wird.

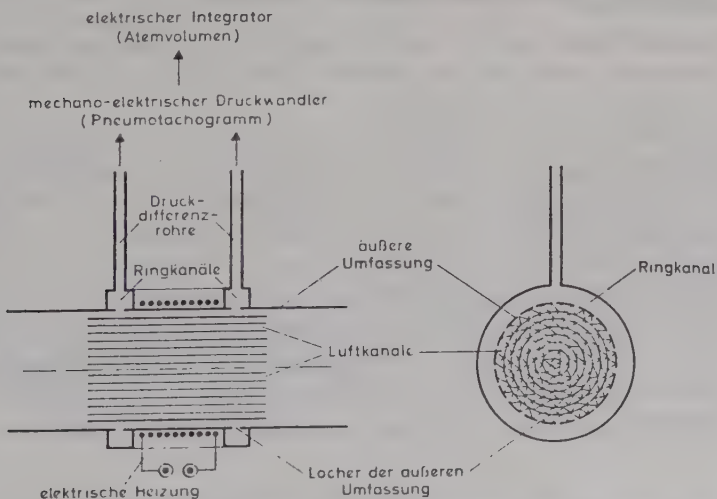


Abb. 5: Schematischer Längs- und Querschnitt des Pneumotachographen von Fleisch.

Im Pneumotachographenrohr beträgt der Widerstand 3,6 mm H₂O pro Liter/s und gewährleistet eine lineare Anzeige über einen Bereich von 0 - 15 Liter/s, so daß auch die größten Atemvolumen sicher erfaßt werden können.

Die Registrierung erfolgt unter BTPS - Bedingungen, da die Ausatemluft auf dem kurzen Weg von der Maske zum Pneumotachographenrohr nicht abkühlt. Der bei der Durchströmung des Pneumotachographenrohrs entstehende Differenzdruck wird einer empfindlichen Druckwandlerdose zugeführt. In einem Analogrechner wird das Pneumotachogramm elektronisch integriert.

Das Atemminutenvolumen (AMV) wird auf dem Direktschreiber in Form einer Treppenkurve aufgezeichnet, die nach Ablauf von 30 sec. auf Null zurückspringt. Danach bildet sich eine neue Treppenlinie. Unter Berücksichtigung des gewählten Meßbereiches und der Eichfaktoren kann damit das Atemminutenvolumen für jede halbe Minute auf Registrierstreifen abgelesen werden.

Die Berechnung des AMV erfolgt bei einer Eichung von ± 1 cm = 6000 ccm Luft nach der Formel

$$\text{AMV in ccm} = \frac{\text{mm}}{2} \times \text{Meßbereich} \times 12$$

5. Atemfrequenz

In 30-Sekunden-Abständen können die Meßwerte für die Atemfrequenz durch einen Analog-Digitalwandler direkt verarbeitet und auf dem Registrierstreifen aufgezeichnet werden.

6. Atemzugvolumen

Das Atemzugvolumen ergibt sich als Quotient aus Atemminutenvolumen BTPS dividiert durch die ausgezählte Atemfrequenz für die Minute.

7. Die absolute Sauerstoffaufnahme

Der Wert für die Sauerstoffaufnahme pro Minute wird gebildet durch das Produkt aus Volumenprozent Sauerstoff (gleich der Sauerstoffdifferenz von Inspirations- zu Expirationsluft) und aus dem Atemminutenvolumen STPD für die entsprechende Minute.

Die Registrierung der Volumenprozent Sauerstoff und Kohlendioxyd erfolgte mit dem Lungenfunktionsmeßplatz "Pneumotest" der Firma E.Jäger, Würzburg, durch Gasanalyse nach dem Wärmeleitprinzip. Die ausgeatmete Luft wird nach Durchströmung des Pneumotachographenrohrs in einer Mischkammer gesammelt. Das Mischgefäß

ist in der Lage, sowohl bei Ruheatmung wie bei hoher Belastung jeweils etwa 3 - 5 Einzelatemzüge aufzunehmen, d.h. in Ruhe 1 - 2 l, bei der Ergospirometrie 5 - 10 l. Aus der Mischkammer werden dann permanent Gasgemische dem angeschlossenen Gasanalysator zugeführt. Hierdurch wird eine laufende Registrierung des prozentualen O_2 und CO_2 Gehaltes der Expirationsluft ermöglicht. Die Gesamtverzögerung bei der Registrierung beträgt insgesamt dreißig Sekunden, bedingt durch Anzeigenverzögerung infolge Schlauchlänge (Zufuhrverzögerung) 20 sec. und durch die Zeitkonstante bei der Sauerstoffmessung 10 sec.

Die Sauerstoff- und Kohlendioxydkonzentration werden als Potentialdifferenz zur Einatmung unabhängig von der Umgebungstemperatur und dem Luftdruck nach der Wärmeleitmethode mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ Vol. % für CO_2 und O_2 gemessen.

Die Reduktion des gemessenen Gasvolumens auf Standardbedingungen STPD erfolgt nach der Formel:

$$V_O = V \times \frac{(PB - P_{H_2O}) \times 273}{760 \times (273 + t)}$$

Dabei ist:

V_O	=	reduziertes Volumen (STPD)
V	=	gemessenes Volumen (BTPS)
PB	=	Barometerstand in mmHg
P_{H_2O}	=	Sättigungsdruck des Wasserdampfes in mmHg bei der gegebenen Temperatur
t	=	Temperatur in Grad Celsius
273	=	273 ° Kelvin
760	=	760 mm Hg

Die während der Untersuchungen vorhandenen Luftdruck- und Temperaturbedingungen werden einem Analogrechner manuell zugeführt. Dieser gibt die auf Standardbedingungen korrigierten Gasvolumenwerte einem Analog-Digitalwandler weiter, der die anfallenden Meßdaten entsprechend korrigiert. Die Sauerstoffaufnahmewerte können in beliebig vielen 30-Sekunden-Intervallen über einen numerischen Streifenausdruck oder über eine angeschlossene Schreibmaschine abgerufen werden.

8. Sauerstoffpuls

$$O_2 - \text{Puls} = \frac{O_2 - \text{Aufnahme STPD}}{\text{Herzfrequenz}}$$

Der Wert der jeweiligen Sauerstoffaufnahme STPD für die Minute wird durch den entsprechenden Herzfrequenzwert dividiert.

9. Relative Sauerstoffaufnahme

$$\text{Relative } O_2\text{-Aufnahme} = \frac{\text{absolute } O_2\text{-Aufnahme STPD}}{\text{kg Körpergewicht}}$$

10. Das Atemäquivalent (ÄÄ)

$$\text{ÄÄ} = \frac{\text{Atemminutenvolumen BTPS}}{O_2 - \text{Aufnahme STPD}}$$

Der Wert für das jeweilige Atemvolumen BTPS für die Minute wird durch den entsprechenden Sauerstoffaufnahmewert STPD dividiert. Die direkte Verarbeitung der Meßdaten erfolgt durch die on-line-Datenverarbeitung.

11. Respiratorische Quotient (RQ) = Ventilations-RQ

$$\text{VRQ} = \frac{CO_2 - \text{Ausscheidung STPD}}{O_2 - \text{Aufnahme STPD}}$$

Der Wert für den Ventilations-RQ berechnet sich aus der Kohlendioxydausscheidung STPD dividiert durch die Sauerstoffaufnahme STPD für die jeweilige Minute. Im RQ - Computer werden die vom CO_2 - Test und O_2 - Test abgegebenen Daten direkt zum Respiratorischen Quotienten (RQ) verarbeitet.

Der metabolische RQ wird im Gegensatz zum VRQ nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Metabolischer RQ} = \frac{CO_2 - \text{Produktion cm}^3 \text{ STPD}}{O_2 - \text{Verbrauch cm}^3 \text{ STPD}}$$

Nach NOWACKI (68) ist die CO_2 -Produktion gleich der CO_2 -Ausscheidung und die O_2 -Aufnahme gleich dem Sauerstoffverbrauch nur bei Ruheatmung und evtl. bei Arbeiten im steady-state. Nur unter diesen Voraussetzungen entspricht der Wert des metabolischen RQ dem des ventilatorischen RQ. Sind Veränderungen der Ventilation oder des Stoffwechsels aber sehr groß, dann kommt es zwischen dem metabolischen und ventilatorischen RQ nicht mehr zum Ausgleich.

12. O₂ - Schuld

Hier wurde die Sauerstoffmenge zu Grunde gelegt, die bei einer 5-minütigen Ruheatmung im Liegen aufgenommen wurde. Diese Ruhe-O₂-Aufnahme wurde subtrahiert von der 5-minütigen Erholungs-O₂-Aufnahme. Dabei wurde die 5 Min. O₂-Schuld gleich 55,7 % der tatsächlichen O₂-Schuld gesetzt (NOWACKI und FANDREY 74) und die tatsächliche O₂-Schuld rechnerisch zu 100 % bestimmt.

13. Wirkungsgrad

Die Berechnung des Wirkungsgrades erfolgte in der Weise, daß die geleistete Arbeit in kcal umgerechnet wird und mit der in kcal umgerechneten Sauerstoffmehraufnahme in eine prozentuale Beziehung gesetzt wird. Die O₂-Mehraufnahme basiert dabei auf der Arbeits- und Erholungs-O₂-Aufnahme, abzüglich des auch sonst in dieser Periode in Ruhe verbrauchten Sauerstoffs.

$$\text{Wirkungsgrad in \%} = \frac{\text{Arbeit in kcal}}{\text{O}_2 \text{ Mehraufnahme in kcal}}$$

F) Kritik der Methodik

Die Spiroergometrie ist eine sichere experimentelle Methode, die körperliche und kardiopulmonale Leistungsfähigkeit eines Menschen zu untersuchen. Sie erfüllt die Forderung nach Objektivität, Reproduzierbarkeit und Unschädlichkeit.

Die Fehlergrenzen konnten durch die Einführung von Computersystemen und elektronischer Datenverarbeitung in die ergometrische Leistungsmessung verringert werden, da Fehler, wie sie bei der manuellen Auswertung und Ausrechnung spiroergometrischer Leistungsgrößen vorkamen, ausgeschlossen werden können.

Der Datenvergleich "Computermessung" und "Originalregistrierkurvenmessung" ergab eine um etwa 5 - 10 % verringerte Sauerstoffaufnahme STPD für die Computermessung, da die Berechnung der O₂-Aufnahme von einem integrierten AMV-Mittelwert einer halben Belastungsminute ausgeht. Diese Registrierung der O₂-Aufnahme scheint jedoch biologisch "richtige" Werte zu erbringen.

Nach dem weiterentwickelten Untersuchungsbogen für den Spitzensport, nach dem seit Januar 1974 untersucht wird, sind auch kardiozirkulatorische Funktionsgrößen im submaximalen Leistungsbereich zu bestimmen. Die Fehlerbreiten bei den einzelnen Leistungsparametern liegen innerhalb des vertretbaren Rahmens.

Die Einhaltung der Leistungsumsatzbedingungen bei ergometrischen Untersuchungen konnten nicht in dem strengen Rahmen gewährleistet werden. Die Zahl der Versuchspersonen war zu groß, um sie an einem Tag zu untersuchen. Außerdem wurde jede Versuchsperson sowohl auf dem Fahrrad, als auch auf dem Laufbandergometer untersucht. Das erfordert auch von dem Sportler stets die Motivation, sich auf jedem Gerät (Fahrradergometer/Laufband) bis zur Grenze seiner Leistungsfähigkeit einzusetzen, dies geschah auch ausnahmslos. Eine objektive Kontrolle und Registrierung der biologischen Ausbelastungsgrößen zeigte in jedem Fall, daß sich die Sportler - unabhängig von den jeweiligen individuellen Tagesformschwankungen - bis zur Leistungsgrenze angestrengt hatten. Dies war am gleichen Tag nicht möglich. Zudem konnte nur unwesentlich Einfluß auf die physische und psychische Verfassung vor dem Untersuchungstag genommen werden.

Änderungen im seelischen und körperlichen Zustand konnten durch eine verlängerte Anfahrt zum Untersuchungsort (eine große Anzahl der Untersuchungen konnten nicht in Gießen, sondern mußten in Bad Nauheim vorgenommen werden), Lage der Untersuchung zu Beginn, auf dem Höhepunkt oder am Ende der Wettkampfsaison hervorgerufen sein. Zum Teil lagen auch beträchtliche Entwicklungsunterschiede zwischen den einzelnen Jugendlichen vor. Es ging uns aber in erster Linie um den Vergleich zwischen Laufband und Fahrradergometer. Aus dem gleichen Grunde wurde auch darauf verzichtet, die jugendlichen Handballer noch in Spielertypen (Rückraumspieler, Kreisläufer oder Torwart) zu untergliedern.

Trotz Beruhigung waren einige Versuchspersonen vor Arbeitsbeginn nicht in der Lage, ihre Nervosität abzulegen. Um einen reibungslosen Ablauf der Untersuchungen und damit eine optimale Belastung und Gesamtuntersuchungszeit zu gewährleisten, konnte ein in die Registrierung miteingegangener erhöhter Ruhe-RQ-Meßwert, bedingt durch Hyperventilation, nicht immer vermieden werden.

In allen anderen Bedingungen sind die Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung, wie sie bei der Tagung des Forschungskomitees des ICSPE zur internationalen Standardisierung der Ergometrie während des 16. Weltkongresses für Sportmedizin am 14.6.1966 in Hannover vereinbart wurden, eingehalten worden.

Bei der Versuchsplanung war vorgesehen, die Belastungssteigerung auf dem Laufband analog zur körperlengewichtsbezogenen Belastungssteigerung auf dem Fahrradergometer vorzunehmen. Es sollte also, beginnend bei 1 Watt/kg Körpergewicht, alle 2 min. die nächsthöhere Belastungsstufe eingestellt werden.

Nach einigen Vorversuchen stellte sich heraus, daß bei einer Anfangsstufe von 1 Watt/kg Körpergewicht, das entspricht auf dem Laufband einer Laufbandgeschwindigkeit von 9 km/h und einer Steigung von 4 %, die Ventilationsgrößen wie Atemminutenvolumen, O_2 -Aufnahme, CO_2 -Abgabe, Atemzugvolumen, RQ in unphysiologischer Weise anstiegen, d.h. zu Beginn der Belastung wurde dem Stoffwechsel des Probanden keine Gelegenheit gegeben, sich auf die relativ große initiale Leistung einzustellen. Dies läßt sich biochemisch und physiologisch erklären:

Zu Beginn einer körperlichen Belastung wird die Energie dazu aus den energiereichen Phosphaten (ATP und CP) gewonnen.

Diese sogenannten energiereichen Phosphate können kurzfristig starke muskuläre Belastungen unterhalten. Mit Beginn der Belastung werden jedoch auch schon Energien über die Glykolyse anaerob bereitgestellt. Diese energieliefernden Prozesse erreichen ihr Maximum nach etwa 20 bis 40 sec. Ebenfalls zu Beginn der Belastung, jedoch sehr langsam ansteigend, kommen die aeroben Vorgänge mehr und mehr zum Tragen und werden schließlich zur fast ausschließlichen Energiequelle für die muskuläre Arbeit.

Die oben beschriebenen gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den verschiedenen energieliefernden Prozessen müssen bei der Wahl einer Belastungssteigerung unbedingt berücksichtigt werden. Bei den Vorversuchen zu unseren Experimenten hat es sich gezeigt, daß bei 9 km/h Laufbandgeschwindigkeit und 4 % Steigung entsprechend 1 Watt/kg Körpergewicht zu Beginn der Laufbandleistung wegen des Einsatzes großer Muskelgruppen die energiereichen Phosphate sehr schnell ausgeschöpft waren und die anaeroben Energiegewinnprozesse für die meisten Probanden zu stark beansprucht wurden. Es kam zu massiver Lactatbildung, die zur muskulären Ermüdung und schließlich zum vorzeitigen Abbruch des Versuches führten.

Als eine günstige initiale Belastungsstufe auf dem Laufband fanden wir 9 km/h und 1 % Steigung, das entspricht 1/4 Watt/kg Körpergewicht. In dieser anfänglichen Einlaufphase konnten sich die untersuchten Sportler an das Laufband gewöhnen, und es bestand die Möglichkeit für Korrekturmöglichkeiten an den EKG-Kabeln und am

Pneumotachographenschlauch. Außerdem konnten wir als Untersucher durch Mitzählen und Aufforderung zur Schrittverlängerung oder -verkürzung die Probanden besser auf dieses im Vergleich zum Fahrradergometer "schwierige" Untersuchungsgerät einstellen. Es gelang uns durch diese relativ niedrige Anfangsbelastung, alle Probanden in ihren maximalen Leistungsbereich hineinzubringen. Dadurch konnten besonders genaue Aussagen über die maximale kardiopulmonale Leistungsfähigkeit gemacht werden. Den Belastungsmodus auf dem Fahrradergometer in der Weise zu ändern, dort auch mit 1/4 Watt/kg Körpergewicht zu beginnen, war nicht möglich, weil wir Vergleichszahlen aus früheren fahrradspiroergometrischen Untersuchungen benötigten.

G) Statistische Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

Für die Ruderer und die Handballer wurden der Mittelwert (M) und die Standardabweichung (S) der Einzelmaximalwerte für die Funktionsgrößen wie absolute Sauerstoffaufnahme (VO_2), relative Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht (VO_2/kg), Atemminutenvolumen (AMV), Gesamtarbeit in Wattminuten berechnet. Zudem wurde der Durchschnittswert und die Standardabweichung der vollen Belastungsminute für die relative Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht (VO_2/kg), für die Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag (VO_2/Hf), für das Atemminutenvolumen (AMV), für die Atemfrequenz (Af), für das Atemzugvolumen (AZV), für die Herzschlagfrequenz (Hf), für den Ventilations-RQ (RQ) und für das Atemäquivalent (ÄÄ) errechnet.

Mittelwert und Standardabweichung wurden weiterhin für den Ruhe- und Erholungsblutdruck in minütlichen Abständen und den Belastungsblutdruck auf dem Fahrradergometer bis in den Submaximalbereich in zweiminütigen Abständen ermittelt. Ebenso erfolgte eine Berechnung der Durchschnittswerte und der Standardabweichung für die absolute Sauerstoffaufnahme in minütlichen Beobachtungsabständen.

$$M = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n}{n}$$

$$S = \frac{(M - X_1)^2 + (M - X_2)^2 + \dots + (M - X_n)^2}{n - 1}$$

Auf die Bestimmung der Standardabweichung in den höchsten Belastungsstufen konnte verzichtet werden, da die Werte für ein oder zwei Versuchspersonen nach insgesamt sechzehn, die in diesem Leistungsbereich noch arbeiten, keine statistische Aussagekraft mehr besitzen. Sowohl für die Mittelwerte der Einzelmaximalwerte, der absoluten Sauerstoffaufnahme (VO_2), der relativen Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht (VO_2/kg), das Atemminutenvolumen (AMV), der Herzschlagfrequenz (Hf), der Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag (O_2/Hf), des Atemzugsvolumen (AZV) und der Gesamtarbeit in Wattminuten, als auch für die Mittelwerte in Ruhe, der vierten Belastungsminute und der fünften Erholungsminute, der absoluten Sauerstoffaufnahme (VO_2), der relativen Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht (VO_2/kg), des Atemminutenvolumens (AMV), der Herzschlagfrequenz (Hf), der Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag (VO_2/Hf) und des systolischen Blutdrucks (RR) wurde der mittlere Fehler des Mittelwertes sowie die Sigma-Differenz berechnet.

$$S_M = \pm \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

$$S_{Diff} = \pm \sqrt{S_M^2 + S_{M_2}^2}$$

Mit Hilfe der t-Verteilung nach Student wurde unter Berücksichtigung des Freiheitsgrades

$$n = n_1 + n_2 - 2$$

die Irrtumswahrscheinlichkeit p ermittelt.

$$t = \frac{M_1 - M_2}{S_{Diff}}$$

Dabei entspricht

p < 0,001	einer Irrtumswahrscheinlichkeit 1 0/00
p < 0,005	von weniger als 5 0/00
p < 0,01	1 %
p < 0,05	10 %
p < 0,10	

(FREUDENBERG 14, REICH 75)

Entsprechend dem Vorschlag von FREUDENBERG (14) wird die Signifikanz folgendermaßen unterteilt:

$p > 5\%$ nicht signifikant (n s)
 $5\text{ ‰} \leq p \leq 5\%$ wahrscheinlich signifikant (w s)
 $p \leq 5\text{ ‰}$ sicher signifikant (s s)

(im Text wird auch statt "sicher signifikant" nur
"signifikant" benutzt)

Zeichenerklärung:

X = Einzelwert
n = Anzahl der Einzelwerte
M = Mittel- oder Durchschnittswert
S = Standardabweichung oder mittlere Abweichung vom
 Mittelwert
 S_M = mittlerer Fehler des Mittelwertes
 S_{Diff} = Sigma-Differenz
t = Irrtumswahrscheinlichkeit.

III Ergebnisse

Vergleichende Untersuchungen von jugendlichen Handballspielern auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband.

1) Kardiozirkulatorische Funktionsgrößen Herzfrequenz.

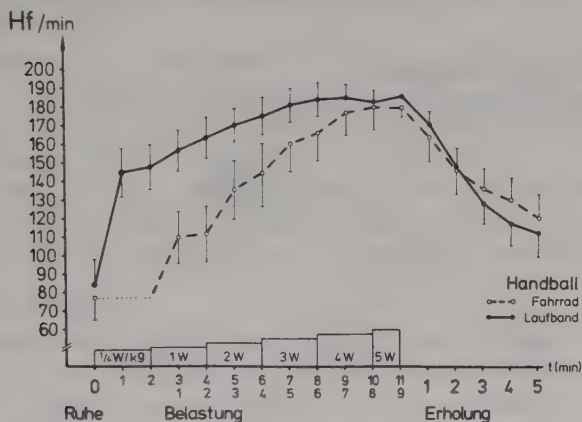


Abb. 6: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung der Herzfrequenz von jugendlichen Handballspielern vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband ($n = 16$) und Fahrradergometer im Sitzen ($n=16$).

Fahrrad:

Die Kurve steigt von einem Ruhewert von 77/min in der ersten Belastungsminute stark an auf 110/min, in der zweiten Minute nur geringer Anstieg auf 112/min. Danach steigt die Kurve langsamer an als in der Anfangsminute und erreicht in der 9. - 11. Belastungsminute ein Plateau mit Werten um 180. Nach der Leistung erfolgt ein steiler, dann immer langsamer werdender Abfall der Herzfrequenz bis zum tiefsten Wert in der fünften Erholungsminute, der mit 121/min aber noch deutlich über dem Ruhewert liegt.

Laufband:

Der Ruhewert liegt etwas höher bei 84/min als auf dem Fahrradergometer. Es erfolgt sofort ein steiler Anstieg in der ersten Belastungsminute auf 145/min. Nach weiterem, jetzt erheblich langsamer werdenden Anstieg mündet die Kurve in der 8. - 11.

Belastungsminute in ein Plateau ein, das mit Werten um 185/min über dem Plateau der Kurve auf dem Fahrradergometer liegt. Nach Beendigung der Leistung schließt sich in der Kurve sofort ein steiler Abfall der Herzfrequenz an, der in der 4. und 5. Belastungsminute langsamer wird und einen Tiefstwert von 113/min erreicht. Damit wird zwar der Ruhewert längst noch nicht erreicht, dieser Wert liegt aber unter dem Wert auf dem Fahrrad-ergometer.

2) Respiratorische Funktionsgrößen

Atemminutenvolumen (BTPS) und Atemzugvolumen (STPD)

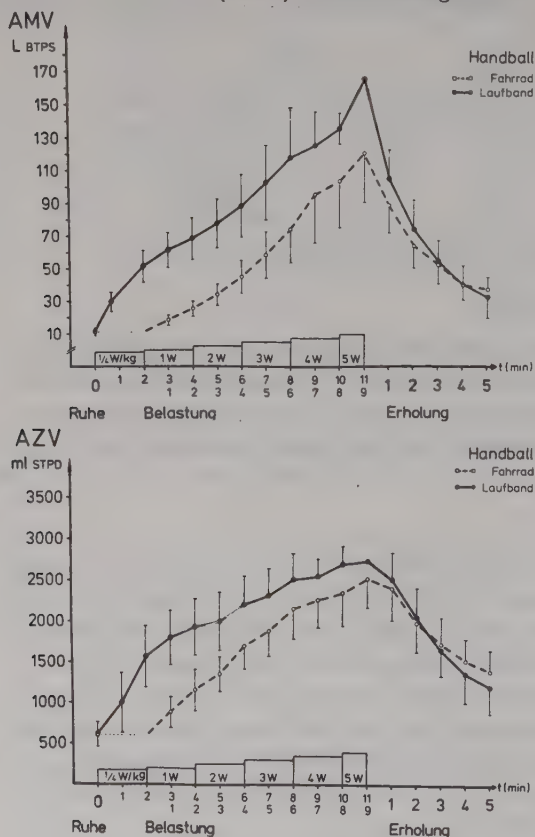


Abb. 7: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung des Atemminutenvolumens (BTPS) und des Atemzugvolumens (STPD) jugendlicher Handballspieler vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband (n = 16) und Fahrradergometer im Sitzen (n = 16).

Fahrrad: (AMV)

Von einem Ruhewert von 11,2 steigt die Kurve fast linear bis zum Höchstwert von 121 l in der 9. Arbeitsminute an. Danach erfolgt ein steiler Abfall nach Belastung, der nach der zweiten Erholungsminute langsamer wird und in der 5. Erholungsminute einen Wert von 37,5 l erreicht.

Laufband: (AMV)

Ausgehend von einem Ruhewert von 11,7 l liegt ein fast paralleler Verlauf vor, die Werte liegen über den Werten auf dem Fahrrad. Die Kurve steigt linear bis zu einem Höchstwert von 165,6 l in der 11. Belastungsminute an. Der Abfall auf dem Laufband nach der Belastung verläuft ähnlich wie auf dem Fahrrad. Der Wert in der 5. Erholungsminute liegt auf dem Laufband mit 32,7 l gering unter dem Wert auf dem Fahrradergometer.

Fahrrad: (AZV)

Ausgehend von einem Ruhewert von 599 ml erfolgt ein kontinuierlicher Anstieg, der in den letzten drei Arbeitsminuten nur gering flacher ist, bis zum Höchstwert von 2535 ml. Nach der Belastung schließt sich ein sofortiger Abfall an, der in der ersten Minute nicht so steil ist wie in der zweiten und dritten Minute. Danach erfolgt der weitere Abfall bis zur 5. Erholungsminute mit einem Wert von 1393 ml etwas langsamer.

Laufband: (AZV)

Vom Ruhewert 621 ml ausgehend erfolgt initial ein steiler Anstieg. Danach schließt sich ein weiterer kontinuierlicher Anstieg an, der aber deutlich flacher ist und in der 11. Belastungsminute den Höchstwert von 2750 ml erreicht. In den Erholungsminuten fällt die Kurve kontinuierlich ab, dabei ist der Abfall in den letzten beiden Erholungsminuten nicht so steil wie in den ersten drei. Der tiefste Wert auf dem Laufband in der 5. Erholungsminute liegt mit 1207 ml unter dem Wert auf dem Fahrradergometer, hat aber den Ruhewert noch längst nicht erreicht.

3) Bruttokriterien der kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit.

Absolute und relative Sauerstoffaufnahme (STPD)

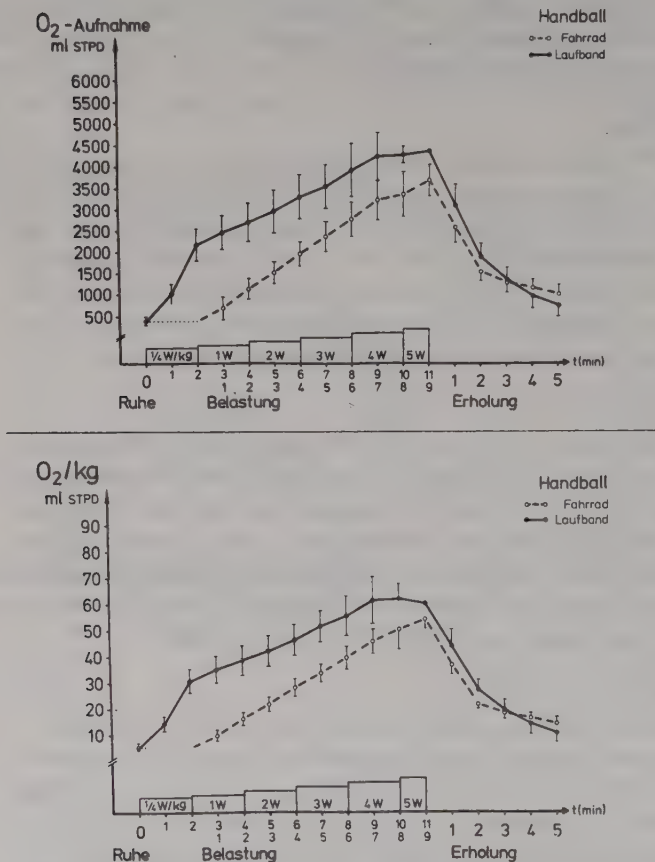


Abb. 8: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme (STPD) von jugendlichen Handballspielern vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband ($n = 16$) und Fahrradergometer im Sitzen ($n = 16$).

Fahrrad:

Nach einem Ruhewert von 382 ml bzw. 5,5 ml/kg kann man einen kontinuierlichen Anstieg der Kurve der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme verfolgen. Dieser gleichmäßige Anstieg wird lediglich zwischen der siebten und achten Belastungsminute durch eine Treppenbildung bei der absoluten Sauerstoffaufnahme unterbrochen. Nach dieser Unregelmäßigkeit im Kurvenverlauf steigt die Kurve wieder gleichmäßig an wie im anfänglichen Belastungsteil bis zum Höchstwert von 3765 ml. Bei der relativen Sauerstoffaufnahme wird der gleichmäßige Anstieg bis zum Höchstwert von 54,3 ml/kg nicht unterbrochen. Nach Beendigung der Arbeit fallen beide Kurven steil ab. Dieser Abfall wird von der dritten Erholungsminute an geringer. In der fünften Erholungsminute sind mit 993 ml bzw. 14,1 ml/kg die Ruhewerte noch nicht erreicht.

Laufband:

Von den Ruhewerten 382 ml bzw. 5,4 ml/kg steigen die Kurven deutlich steiler an als auf dem Fahrradergometer. Danach erfolgt bei beiden ein kontinuierlicher Anstieg, nicht ganz so steil wie auf dem Fahrradergometer. In der neunten Belastungsminute wird, wie bei der absoluten O_2 -Aufnahme, fast schon der Höchstwert erreicht. Danach erfolgt nur noch ein ganz geringer Anstieg bis zur elften Belastungsminute. Bei der relativen Sauerstoffaufnahme mündet die Kurve von der neunten bis zur elften Belastungsminute in ein Plateau ein. Die Höchstwerte liegen bei 4250 ml bzw. 62 ml/kg oberhalb der auf dem Fahrradergometer erreichten Höchstwerte. Nach Beendigung der Arbeit erfolgt ein ähnlicher Abfall wie auf dem Fahrradergometer. Die in der fünften Erholungsminute gemessenen Werte liegen mit 729 ml bzw. 10,7 ml/kg unter den Werten auf dem Fahrradergometer.

4) Leistungsphysiologische Quotienten.

a) Sauerstoffpuls

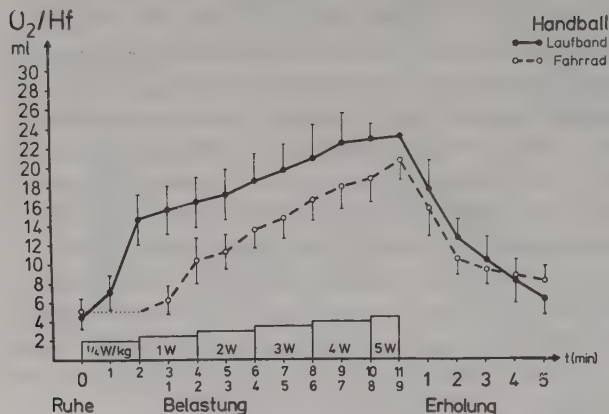


Abb. 9: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung des Sauerstoffpulses von jugendlichen Handballspielern vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband ($n = 16$) und Fahrradergometer im Sitzen ($n = 16$).

Fahrrad:

Die Sauerstoffpulskurve geht nach einem initialen steilen Anstieg in den ersten beiden Belastungsminuten in einen langsameren Anstieg über. Sie erreicht ihren Höchstwert von 20,8 ml in der neunten Belastungsminute. Die ersten zwei Erholungsminuten sind von einem steilen Abfall geprägt. Danach sinkt die Kurve wieder langsamer ab und erreicht in der fünften Erholungsminute mit 8,2 ml einen Wert, der deutlich über dem Ausgangswert liegt.

Laufband:

Der Ausgangswert liegt geringfügig unter der Kurve auf dem Fahrradergometer. In den ersten beiden Belastungsminuten liegt ein noch steilerer Anstieg vor. Der weitere Anstieg ist weniger steil wie auf dem Fahrradergometer, in den letzten beiden Arbeitsminuten liegt ein fast flacher Verlauf vor. Nach Arbeitsende fällt die Kurve in den beiden ersten Erholungsminuten parallel zur Kurve auf dem Fahrradergometer ab. Danach kreuzt sie in der vierten Erholungsminute die andere. Der Wert in der fünften Erholungsminute liegt mit 6,3 ml deutlich unter dem Wert auf dem Fahrradergometer. Auf dem Laufband wird ein Höchstwert von 23,3 ml erreicht.

b) Atemäquivalent und Ventilations-RQ

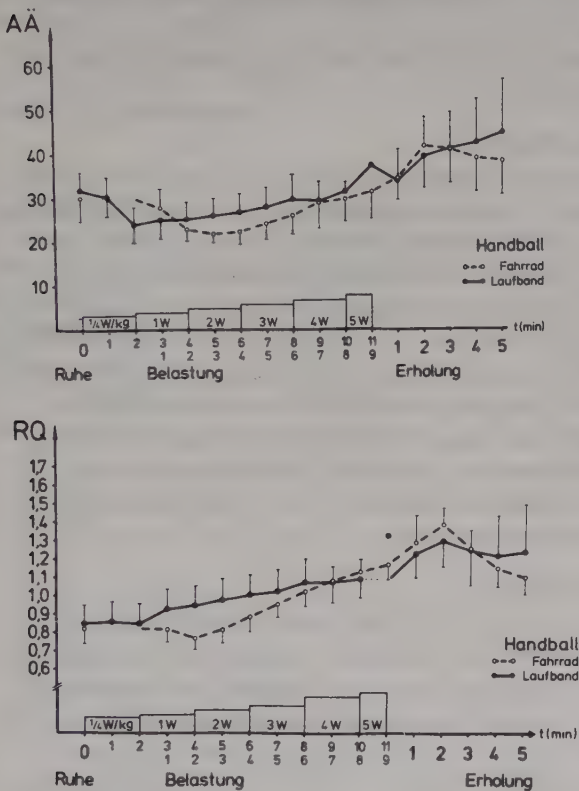


Abb. 10: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung des Atemäquivalents und des Ventilations-RQ von jugendlichen Handballspielern vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband (n = 16) und Fahrradergometer im Sitzen (n = 16).

Fahrrad: (Atemäquivalent)

Der Anfangswert des Atemäquivalents liegt vor der Belastung bei 30,3. In den ersten Arbeitsminuten verbessert sich die Ventilationsökonomie und erreicht mit 22,3 in der dritten Belastungsminute den niedrigsten Wert. Unter der zunehmenden

Belastung steigt der Wert wieder auf 31,9 an. In den ersten Erholungsminuten wird die Ventilation unökonomischer, in der zweiten Erholungsminute wird mit 42,3 der höchste Wert erreicht. In der von uns gemessenen fünften Erholungsminute ist der Wert bis auf 38,8 abgefallen.

Laufband: (Atemäquivalent)

Der Anfangswert des Atemäquivalents liegt auf dem Fahrrad vor der Belastung mit 32,2 gering über dem Wert auf dem Fahrradergometer, sicherlich nervös bedingt durch die etwas stärkere Hyperventilation. Der Wert verbessert sich in den ersten beiden Arbeitsminuten. Der niedrigste Wert wird in der zweiten Belastungsminute erreicht. Bei der zunehmenden Belastung steigt der Wert allmählich an bis zu 31,9 in der zehnten Belastungsminute. Der Wert von 38,0 wurde nur von einem Probanden erreicht. In den fünf von uns gemessenen Erholungsminuten wird die Ventilation unökonomisch und erreicht in der fünften Erholungsminute im Gegensatz zur Kurve auf dem Fahrradergometer mit 45,4 den Höchstwert.

Fahrrad: (Ventilation-RQ)

Der Anfangswert liegt bei 0,82. Nach zwei Arbeitsminuten wird der niedrigste Wert von 0,77 erreicht. Dann steigt die RQ-Kurve linear an bis auf einen Wert von 1,18 am Ende der Belastung. Danach erfolgt ein steiler Anstieg bis zum höchsten Wert in der zweiten Erholungsminute von 1,40. Daran schließt sich ein linearer Abfall auf einen RQ von 1,11 in der fünften Erholungsminute an.

Laufband: (Ventilations-RQ)

Die Kurve beginnt mit einem Ruheausgangswert von 0,85, der im Vergleich zur Kurve auf dem Fahrradergometer nicht abfällt, danach linearer Anstieg bis auf einen Wert von 1,10 am Ende der Belastung. Der Wert 1,34 wurde nur von einem Probanden erreicht. Da dieser Wert sich erheblich von der Untersuchungsgruppe unterscheidet, wurde er aus der Kurve genommen.

Nach Ende der Belastung wird ähnlich wie auf dem Fahrradergometer der höchste Wert von 1,31 in der zweiten Erholungsminute erreicht. Danach erfolgt nur noch ein geringer Abfall des RQ während der von uns erfaßten Erholungsminuten bis auf 1,25.

Durchschnittliche Maximalwerte der jugendlichen Handballer
auf dem Laufband- und Fahrradergometer.

Zur besseren Übersicht sind die Mittelwerte der Maximalwerte auf dem Laufband und Fahrradergometer in der folgenden Tabelle gegenübergestellt.

Handballspieler	Fahrradergometer	Laufband
Summe der Gesamtarbeit	1379 Wattmin.	1119 Wattmin.
Belastungszeit	7'55"	8'54"
Wirkungsgrad in %	17,2	10,1
AMV max. (BTPS)	115,9 l	136,2 l
absol. O ₂ -Aufn.	3562 ml	4254 ml
rel. O ₂ -Aufn.	50,9 ml	61 ml
O ₂ /Hf	19.4 ml	22,4 ml
O ₂ -Schuld	9.67 l	11,1 l

IV. Diskussion der Ergebnisse

Die Untersuchung der biologischen Funktionsgrößen im Leistungssport muß auf die konkrete Verwertbarkeit für den Trainingsprozeß gerichtet sein. Bezüglich der Funktionsgröße Sauerstoffaufnahme ist in mehreren Jahrzehnten eine Fülle von Forschungsergebnissen erarbeitet worden, die den Zusammenhang zwischen Parametern der Sauerstoffaufnahme und der allgemeinen physischen Leistungsfähigkeit hinreichend belegt haben. Prinzipiell kann auch der kausale Zusammenhang zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme und sportlicher Leistung in verschiedenen Ausdauerdisziplinen durch experimentelle Befunde belegt werden (NOWACKI 73 und FARVEL 13).

Wir sind der Meinung, daß im Rahmen der komplexen Leistungsdiagnostik die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme dann einen konkreten und wertvollen Beitrag zur Leistungsentwicklung leisten kann, wenn möglichst exakte Beziehungen zwischen Sauerstoffaufnahme und sportlicher Leistung spezifisch für Sportart und Disziplin hergestellt werden können. Bei allen leistungsdiagnostischen Maßnahmen ist zu prüfen, welche Belastungsformen beurteilt werden sollen. Die günstigsten leistungsdiagnostischen Möglichkeiten bestehen derzeit bei mittel- und langdauernden Belastungen. Je mehr sich Belastungsformen zu kurzfristigen Belastungen verschieben, desto geringer bzw. ungenauer sind leistungsdiagnostische Aussagen möglich.

In der vorliegenden Arbeit werden definierte Belastungsstufen (Watt/kg Körpergewicht) für Laufbanduntersuchungen angegeben, die Vergleiche mit fahrradergometrischen Untersuchungen ermöglichen.

Erstmals wurden vergleichende Untersuchungen dieser Art bei leistungsstarken jugendlichen Handballern durchgeführt. Dadurch kann die Aussagekraft für Laufbanduntersuchungen für diese Sportart unter Berücksichtigung der biomechanischen Besonderheiten bewertet werden. Ebenso ist es möglich, die Bedeutung der untersuchten biologischen Leistungsdaten bei beiden Belastungsformen im Vergleich zu beurteilen.

A) Unterschied der kardio-respiratorischen Funktionsprüfung bei jugendlichen Handballspielern bei vergleichender, maximaler Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband nach der Watt/kg-Methode.

1. Summe der Gesamtarbeit unter Berücksichtigung der Belastungszeit.

Die Kontrolle und Objektivierung der körperlichen Leistungsfähigkeit eines Sportlers ist ein sehr schwieriges Problem. Bei der Frage der Leistungsdiagnostik muß geprüft werden, welcher Leistungsbereich des Untersuchten zu beurteilen ist. Die sportartspezifischen Fähigkeiten eines Trainierten sind von sehr vielen Faktoren abhängig. Bei der Bewertung eines Handballers stehen die motorischen Grundeigenschaften im Vordergrund, es sollten folgende wesentliche Größen beurteilt werden: Gewandtheit, Beweglichkeit, Schnelligkeit, Kraft und Ausdauer. Die physikalische Leistungsmessung mit Ergometern hat sich als eine der besten und sichersten Methoden bewährt, das Leistungsverhalten eines Sportlers unter wettkampfähnlichen Bedingungen festzustellen. Die Summe der Gesamtarbeit in Wattmin. unter Berücksichtigung der einzelnen Belastungsstufen und der Belastungszeit ist ein Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit. Der dafür in der sportmedizinischen Literatur (MELLEROWICZ 55) gewählte Begriff "Wattleistung" ist nicht zutreffend und irreführend, da es sich bei der sogenannten Wattleistung nicht um eine Leistung sondern um eine Arbeit handelt. Bei gesunden Menschen besteht eine hohe Korrelation der ergometrischen Leistungsfähigkeit (BENGTSSON 8), der maximalen O_2 -Aufnahme (ASTRAND 4) und der Leistungsherzschlagzahl (MELLEROWICZ und LERCHE 51, DRANSFELD und MELLEROWICZ 10) zum Körpergewicht. Beim Handballspiel muß das eigene Körpergewicht bewegt werden. Aus diesem Grund ist für vergleichende ergometrische Untersuchungen besonders bei Jugendlichen wegen des unterschiedlichen Körpergewichts die auf das Körpergewicht bezogene relativ gleiche Leistung geeignet. Daher bot für unsere Untersuchungen das körpergewichtsbezogene Belastungsverfahren die meisten Vorteile. Es war nicht unser Ziel, möglichst hohe Wattstufen zu erreichen, sondern die Ergebnisse von Fahrrad- und Laufbandergometrie vergleichend zu bewerten.

Wir wählten auf dem Fahrrad und auf dem Laufband eine Steigerung der Wattstufe alle 2 Min. um 1 Watt/kg Körpergewicht. Wir schalteten lediglich, wie schon im methodischen Teil besprochen, auf dem Laufband eine Belastungsstufe von 1/4 Watt/kg Körpergewicht vor, diese entspricht einer konstanten Geschwindigkeit von 9 km/Stunde und einer Steigung von 1 %. Bereits ASTRAND (3) und auch ROSSIER (80) zeigten, daß die Länge der Belastung entscheidende Bedeutung für die verschiedenen Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit haben kann.

2 - 3 Minuten benötigt das Herzkreislaufsystem, um auf Belastungen adäquat zu reagieren (HOLLMANN 28). Belastungen, die kürzer als diese "Ansprungszeit" sind, liefern keine genauen Aussagen. Mindestens 6 min lang sollte eine gesunde Normalperson das 2- bis 3-fache, ein Sportler mehr als das 3-fache seines Körpergewichts, in Watt leisten können. Je größer dieser Faktor ist, den MELLEROWICZ (55) als Leistungsquotienten bezeichnet hat, umso höher ist die körperliche Leistungsfähigkeit einzuschätzen. Die jugendlichen Handballer erreichten auf dem Fahrrad durchschnittlich einen Wert von 3,9 Watt/kg Körpergewicht und auf dem Laufband 3,4 Watt/kg Körpergewicht. Die Belastungszeit betrug dabei auf dem Fahrrad 7'55" und auf dem Laufband unter Berücksichtigung der Einlaufphase 8'54". Die Arbeitszeit bei unseren Versuchen erfüllte damit die Anforderungen der Standardisierungsvorschläge zur Bestimmung maximaler ergometrischer Meßgrößen. Sie lag über der Mindestzeit von 6 min, sie dauerte nicht wesentlich länger als 10 min. Die Summe der Gesamtarbeit in Wattmin. unter Berücksichtigung der einzelnen Belastungsstufen und der Belastungszeit lag bei dem Fahrradergometer bei 1379 Wattmin. und auf dem Laufband bei 1119 Wattmin. Die auf dem Laufband erbrachten Werte liegen somit unter den Werten, die auf dem Fahrradergometer erreicht wurden. Dies ist damit zu erklären, daß wir auf dem Laufband die Einlaufphase wegen der biologischen Anpassungsprozesse vorschalten mußten. Diese 2-minütige Einlaufzeit bedeutet doch schon eine deutliche Belastung, wie der steile Anstieg der biologischen Leistungsdaten zeigt. In dieser Phase müssen die untersuchten Handballer die richtige Schrittlänge und eine geeignete

Bewegungskoordination finden, es muß neben der Beinmuskulatur die Rumpf- und Armmuskulatur eingesetzt werden, um die Körperbalance zu halten.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist der schlechtere Wirkungsgrad von 10,1 % auf dem Laufband im Vergleich zu 17,2 % auf dem Fahrradergometer. Wegen des schlechteren Wirkungsgrades auf dem Laufband ist dort eine viel größere biologische Leistung notwendig, um in ähnliche physikalische Leistungsbereiche wie auf dem Fahrradergometer zu kommen.

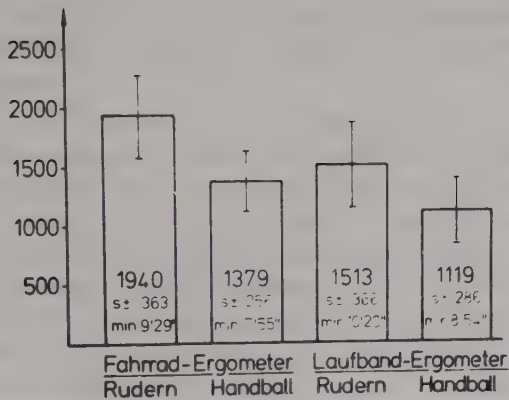


Abb. 11: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Maximalwerte der Summe der Gesamtarbeit in Wattmin der jugendlichen Ruderer und Handballer auf dem Fahrrad- und Laufbandergometer.

Die von PETER ROSENTHAL (79) parallel zu den jugendlichen Handballern untersuchten jugendlichen Wettkampfruderer lagen sowohl auf dem Fahrradergometer als auch auf dem Laufbandergometer über den durchschnittlichen Werten, die die jugendlichen Handballer erreichten. Auffallend ist, daß bei ihnen die

Differenz zwischen Fahrradergometer und Laufband noch größer ist. Die niedrigere Leistungsfähigkeit der jugendlichen Handballer im Vergleich zu den Ruderern wird verständlich, wenn man sich den zeitlichen Trainingsaufwand von nur 5 Stunden in der Woche im Vergleich zum täglichen 2-stündigen Training der Ruderer vor Augen hält. Es kommt noch hinzu, daß bei den Handballern zwar während der Vorbereitungszeit Wert auf Kraft und Ausdauer gelegt wurde, während der Wettkampfrunde sich das Training aber auf technische und taktische Trainingsanteile verlagerte.

2. Wirkungsgrad

Nach Untersuchungen von NOWACKI (61) beträgt der Wirkungsgrad bei maximaler ergometrischer Arbeit in steigenden Wattstufen bei gesunden untrainierten Männern im Alter zwischen 20 und 40 Jahren für Fußkurbelarbeit im Sitzen 23,8 %, für Drehkurbelarbeit im Stehen 19,7 % und für Fußkurbelarbeit im Liegen 20,9 %. MÜLLER (58) ermittelte beim Radfahren einen bestmöglichen Wirkungsgrad von 25 %. KÜCHLIN (46) fand bei maximaler Spiroergometrie im Sitzen (Ruderer) Wirkungsgrade zwischen 17 % - 19,9 %.

Wir fanden bei unseren körpertgewichtsbezogenen Belastungsverfahren auf dem Fahrradergometer einen Wirkungsgrad von 17,2 %. Dieser Wert liegt etwas über dem Wirkungsgrad von 15,24 %, den WETTICH (86) bei körpertgewichtsbezogener maximaler Fahrradergometerbelastung trainierter Probanden feststellen konnte.

Bei der Laufbandergometerarbeit unterteilte WETTICH seine Untersuchungsgruppe in Hochleistungssportler und Trainierte. Dabei erreichten die Hochleistungssportler einen Wirkungsgrad von 12,46 %, die Trainierten 9,15 %. Unsere jugendlichen Handballer erreichten mit einem Wirkungsgrad von 10,1 einen Wert der zwischen den vorher angegebenen Werten liegt.

Der niedrigere Wirkungsgrad auf dem Laufband bei diesen Untersuchungen entsteht durch die sehr hohe mittlere O_2 -Aufnahme, bedingt durch die Beteiligung vieler Muskelgruppen beim Laufen. Nach NOWACKI (61) kommt es zu einer Abnahme des Wirkungsgrades bei einer maximalen Belastung bei allen Arbeitsformen. Der Anteil der anaeroben Arbeit, der sich beim Laufband in einer größeren maximalen Sauerstoffschuld manifestiert, ist ebenfalls mitverantwortlich für den niedrigeren Wirkungsgrad. Schon JOHANNSON (36) stellte die Regel auf, daß der Wirkungsgrad von der Größe der Belastung abhängig ist. Bei wachsender Belastung wird der Wirkungsgrad proportional größer. Geht diese Belastung bis an die Grenze der Leistungsfähigkeit, wird diese Proportionalität durchbrochen. Die Arbeit kann nur noch durch einen unverhältnismäßig größeren Energieaufwand bewältigt werden. Parallel hierzu fällt der Wirkungsgrad ab.

Die höheren Werte der Sauerstoffaufnahme, der Herzfrequenz, des Atemminutenvolumens und des Sauerstoffpuls auf dem Laufband zeigen eine höhere Belastung gegenüber dem Fahrradergometer an. Deshalb kommt es auf diesem Untersuchungsgerät zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades. Hinzu kommt noch der hohe Startbedarf an Energie auf dem Laufband mit den Leerbewegungen der Arme bei Belastungsbeginn.

3. Herzschlagfrequenz

Das Verhalten der Hf ist die Basis-Methode zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems. BASSAN (7) weist darauf hin, daß beim Menschen die Reaktion der Herzfrequenz nicht nur von mechanischen Momenten einer Belastung abhängt, sondern auch in Verbindung steht mit der inhaltlichen psychischen Bedeutung der Arbeit und mit der Einstellung der Versuchspersonen zu der Belastungsprüfung. Für die Leistungsbeurteilung und auch für die Gestaltung des Trainings kommt ihr besondere Bedeutung zu, da die Kontrolle verhältnismäßig einfach und ohne großen apparativen Aufwand durchgeführt werden kann. Man kann mit ihr den Trainings- und Leistungszustand des kardiozirkulatorischen Funktionssystems in Ruhe, unter definierten Belastungsbedingungen und in der Erholungsphase charakterisieren.

Die hohe Pulsfrequenz bei den untersuchten jugendlichen Handballern lag vor der Belastung auf dem Fahrradergometer durchschnittlich bei 77/min, vor der Belastung auf dem Laufband bei 84/min. Die niedrigen Ruhewerte, wie sie in der leistungsphysiologischen Literatur bei austrainierten Dauerleistern vorkommen, z.B. bei dem 40-fachen Deutschen Meister im Skilauf W.D. von 32/min (NOWACKI 73), wurden bei unseren Handballern nicht annähernd erreicht, der niedrigste Ruhewert lag bei 55/min. Die höheren Durchschnittswerte der Ruhefrequenz vor der Laufbandbelastung sind sicherlich aus psychologischen Gründen zu erklären, da dieses Gerät durch Probeuntersuchungen als schwieriger bekannt war. Trotz Zureden und Abwarten von einigen Minuten war ein Handballer sehr aufgeregt und nicht zu beruhigen, dies drückte sich durch einen Ruhewert von 105/min aus.

Der weiterentwickelte Untersuchungsbogen für den Spitzensport, nach dem seit Januar 1974 untersucht wird, sieht auch die Bestimmung kardiozirkulatorischer Funktionsgrößen im submaximalen Leistungsbereich vor. Die submaximale Herzschlagfrequenz kann nach den Ausführungen von ISRAEL (35), NOWACKI (67) sehr gut als diagnostische Kenngröße herangezogen werden, wenn man das Leistungsverhalten in verschiedenen Sportarten und gleichen

Belastungsbedingungen bewerten will. Die submaximale Herzfrequenz ist der Ausdruck der Belastungsintensität, sie ist der momentanen Leistung zuzuordnen. Sie antwortet nach kurzer Einstellzeit auf eine Anforderung und zeigt an, wie der Organismus sich auf eine aktuelle Belastung einstellen kann.

Bei der Verlaufskurve der durchschnittlichen Herzfrequenz auf dem Laufband und Fahrradergometer fällt auf, daß der initiale Anstieg auf dem Laufband steiler ist und schon in der ersten Belastungsminute mit 145/min ein deutlich höherer Wert erreicht wird wie auf dem Fahrradergometer mit 100/min. Auch in den weiteren submaximalen Belastungsstufen liegt diese Verlaufskurve auf dem Laufband deutlich über der Kurve des Fahrradergometers. Dies deckt sich nicht mit den Befunden von SILL und KIRCHHOFF (83), die im submaximalen Bereich bei Laufbandergometerbelastung eine geringfügig höhere Pulsfrequenz feststellten. Das Ergebnis bei unseren Untersuchungen ist damit zu erklären, daß beim Laufen und besonders beim Bergauflaufen größere Muskelgruppen eingesetzt werden müssen, zusätzlich fordert das Laufband eine wesentlich höhere motorische Leistungsfähigkeit, um den richtigen Laufrhythmus zu finden, um sich auf die Geschwindigkeit des Laufbandes einzustellen und um die Körperbalance zu halten. Die beiden Kurven nähern sich in den höheren Belastungsstufen. Nach ISRAEL (32) kann man schon bei einer Herzfrequenz über 170/min von einer intensiven Belastung sprechen. Hier nähert sich die Herzfrequenz allmählich ihrem oberen Anschlagspunkt. Die Beziehung zwischen Belastungserhöhung und Herzfrequenzsteigerung sind in diesen oberen Bereichen nicht mehr linear. Bei über tausend leistungsphysiologischen Untersuchungen mit extremer Ausbelastung der Ruderer konnte NOWACKI (64) Herzfrequenzen feststellen, die in der Mehrzahl zwischen 170 und 190 Schlägen lagen. Mit Sicherheit liegen die maximalen Herzfrequenzen bei jungen, noch nicht voll austrainierten Athleten höher als bei den voll austrainierten Ruderern. Herzschlagfrequenzen über 200, die nach erschöpfenden Dauerleistungen nach einem Endspurt und maximaler O_2 -Schuld, besonders bei Jugendlichen

erreicht werden, können nur für sehr kurze Zeit durchgehalten werden. (WAHLUND 87, SJÖSTRAND 84, ASTRAND 3, MELLEROWICZ und LERCHE 51)

Bei unseren Untersuchungen erreichten die jugendlichen Handballer auf dem Laufband schon bei einer Steigung von 8 % Werte über 170/min. Dies entspricht nach unseren Berechnungen einer Belastung von 2 Watt/kg. Auf dem Fahrradergometer werden diese Frequenzen erst zwischen 3 Watt/kg und 4 Watt/kg Körpergewicht erreicht. Beim Großteil der jugendlichen Versuchspersonen mußten wir auf dem Fahrradergometer schon bei Frequenzen um 170 den Belastungstest abbrechen, weil sie ihrer Aussage nach einfach keine Kraft mehr in den Beinen hatten. Die von der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie empfohlenen Ausbelastungskriterien liegen bei 16 - 18-jährigen zwischen 180 und 190 Schlägen/min. Unser Ziel war es die Probanden so stark zu belasten, bis diese maximalen Pulsfrequenzen erreicht wurden. Bei der Laufbandbelastung beendete nur ein Jugendlicher den Versuch bei einer Herzschlagfrequenz unter 180/min. Ein großer Teil der Probanden erreichte Werte zwischen 180 und 190, der Maximalwert lag sogar bei 202. Wir konnten nur auf dem Laufband das bei Vita-Maxima-Untersuchungen von 16 - 18-jährigen verlangte Ausbelastungskriterium erfüllen. Die sportmedizinischen Arbeitskreise von REINDELL (78) und MELLEROWICZ (55) haben wiederholt die Abhängigkeit der Pulsberuhigung nach sportlicher Höchstbelastung vom Trainingszustand beschrieben. Für die leistungsphysiologische Beurteilung von Leistungsruderern, die auch auf andere Sportarten ausgedehnt werden kann, hat NOWACKI (73) folgende Richtwerte für die Erholungsherzschlagfrequenz nach maximaler Ausbelastung vorgeschlagen:

Hf nach 5 min. Erholungszeit über 130 ist schlecht,
Hf nach 5 min. Erholungszeit zwischen 120 - 130 ausreichend,
Hf nach 5 min. Erholungszeit zwischen 115 - 120 ist befriedigend,
Hf nach 5 min. Erholungszeit zwischen 105 - 115 ist gut,
Hf nach 5 min. Erholungszeit zwischen 100 - 105 ist sehr gut,
Hf nach 5 min. Erholungszeit unter 100 ist Hochleistungszustand.

In den ersten Erholungsminuten fällt die Herzfrequenz bei allen Jugendlichen stark ab, der Wert in der 5. Erholungsminute liegt auf dem Fahrradergometer bei 121, auf dem Laufband bei 113/min. Auf dem Fahrradergometer kann man den jugendlichen Handballern nur eine ausreichende Erholungsfähigkeit bescheinigen, während sie bei sportartspezifischer Belastung auf dem Laufband in Bereiche kommen, die ihnen eine gute kardiozirkulatorische Erholungsfähigkeit bescheinigt.

4. Blutdruck

Die Blutdruckmeßwerte sind wichtiger Bestandteil eines sportmedizinischen Untersuchungsprogramms und ergänzen den Informationsgehalt über die kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit eines Athleten (SCHELLONG 82).

ISRAEL (32) fand bei 471 Sportlern im Alter zwischen 17 - 35 Jahren durchschnittliche systolische Blutdruckwerte zwischen 115 - 125 mm Hg. Die diastolischen Werte lagen im Durchschnitt zwischen 70 - 80 mm Hg. Wir fanden vor der Belastung auf dem Fahrradergometer bei den jugendlichen Handballern einen mittleren Ruheblutdruck von 130/85, vor der Belastung auf dem Laufband 130/80 mm Hg. Diese Werte korrelieren auch gut mit dem Ruheblutdruckmittelwert, den NOWACKI (64) für jugendliche Ruderer mit 127/81 mm Hg angibt.

Interessant ist bei der Betrachtung des Ruheblutdrucks das Beispiel eines 18-jährigen Handballspielers, dessen Wert systolisch bei 160 mm Hg und diastolisch bei 100 mm Hg lag. Diese Werte stellten wir vor der Belastung auf dem Fahrradergometer fest. Er berichtete uns, daß diese Werte beim Hausarzt schon wiederholt im letzten Jahr gemessen wurden, ohne daß bisher die Ursache des erhöhten Blutdrucks festgestellt wurde. Er erzählte uns weiter, daß er von seinem Sportlehrer vor 2 Jahren gehört hatte, für einen Handballspieler am Kreis sei es wichtig, sich auf kurzen Strecken schnell und explosiv zu bewegen. Deshalb hätte er auf dem Hüttenberger Sportplatz dreimal wöchentlich zusätzlich Sprints über 30 - 40 m trainiert. Bei diesem Jugendlichen, der unter falschen Vorstellungen nach dem Intervall-Prinzip trainiert hatte, waren die erhöhten RR-Werte nicht Ausdruck einer krankhaften Hypertonie, sondern eindeutig Folge eines falsch aufgebauten Trainings unter Vernachlässigung der Ausdauerkomponente. Wir erklärten dies dem Jugendlichen. Da er sehr ehrgeizig war, trainierte er daraufhin Waldläufe. Etwa 2 Monate später vor der Belastung auf dem Laufband lag sein Ruhewert systolisch bei 130 mm Hg, diastolisch bei 75 mm Hg.

Bei körperlicher Belastung muß der systolische Blutdruck ansteigen, damit entsprechend dem erhöhten Minutenvolumen das Druckgefälle und damit die Strömungsgeschwindigkeit größer werden kann. Nach HOLLMANN (24) kommt es bei gleicher Leistung bei Trainierten und Untrainierten zu einer gleichen Erhöhung des systolischen RR. ASTRAND (5) fand den RR-Anstieg linear

mit der Sauerstoffaufnahme verknüpft. Ein systolischer RR-Anstieg bis zu 230 mm Hg wird von NÜCKER (59) nach hohen körperlichen Belastungen als physiologisch angesehen. Bei seinen Untersuchungen jugendlicher und erwachsener Hochleistungssportler im Vita-Maxima-Bereich hat NOWACKI (64) Blutdruckwerte von 260/40 mm Hg gemessen.

Bei unseren Untersuchungen wurde der Blutdruck lediglich auf dem Fahrradergometer nach der 2. und nach der 4. Belastungsminute gemessen. Auf dem Laufband war dies aus technischen Gründen nicht möglich. Auf dem Fahrradergometer betrug der durchschnittliche Blutdruck nach der 2. Belastungsminute 150/80 mm Hg, nach der 4. Belastungsminute lag der Wert bei 170/80 mm Hg. Diese Meßwerte zeigen, daß bei unseren Untersuchungen im submaximalen Leistungsbereich der systolische Blutdruck annähernd linear ansteigt. Da bei der indirekten Blutmessung während Fußkurbelarbeit im Sitzen bei extremer Belastung mit starker Muskelanspannung Meßfehler entstehen, haben wir auf die Maximalwerte verzichten müssen.

Eine große Blutdruckamplitude am Ende einer Belastung ist ein Hinweis auf ein großes Schlagvolumen. Eine schnelle Rückkehr des Blutdrucks zu den Ausgangswerten wird im sportmedizinischen Schrifttum allgemein als günstig angesehen. ISRAEL (35) fand, daß mit zunehmenden Herzvolumen der Blutdruck in der Erholungsphase höher liegt. Bei leistungsstarken Ruderern fand NOWACKI (72) Werte von 240/40 mm Hg nach der 1. Erholungsminute. Bei unseren jugendlichen Handballern betrug der durchschnittliche Blutdruck nach der 1. Erholungsminute nach Fahrradergometerbelastung 180/70, dieser Wert sank nach 5 min. auf 140/65 mm Hg ab. Auf dem Laufband lag der Blutdruck in der 1. Erholungsminute bei 180/55, nach der 5. Erholungsminute bei 145/70 mm Hg. Bei beiden Belastungsformen wurde der Ruheausgangswert nach 5 Erholungsminuten noch nicht ganz erreicht.

Die Blutdruckmessung vertieft den Einblick in den Leistungs- und Trainingszustand des kardiozirkulatorischen Systems. Sie hat große Bedeutung bei der Früherkennung hypertoner Regulationsstörungen, die häufig als Folge einer falschen Trainingsgestaltung, besonders bei jugendlichen Leistungssportlern, beobachtet werden (NOWACKI 73), wie wir dies auch deutlich an unserem vorher aufgeführten Beispiel des ehrgeizigen Kreisläufers zeigen konnten.

5. Atemminuten, Atemfrequenz, Atemzugvolumen

Nach NOWACKI (67) beträgt das AMV in Ruhe durchschnittlich 8 l/min und wird mit einer Atemfrequenz von 16/min und einem Atemzugvolumen von 500 ml erreicht. Als Ruhewert für das Atemminutenvolumen gibt HOLLMANN (28) 6 - 12 l an. Bei unseren jugendlichen Handballern fanden wir als Ruhedurchschnittswert auf dem Fahrrad 11,2 l und auf dem Laufband 11,7 l im Vorstartzustand. Der höchste Ruhewert eines Probanden von 15,8 l kam durch Hyperventilation infolge psychischer Erregung zustande. Bei einem Durchschnittswert des respiratorischen Quotienten von 0,82 kann man aber sagen, daß sich bei einem Großteil der Probanden ein normales Atemzeitvolumen nach einigen Minuten Ruhe innerhalb der physiologischen Variationsbreite eingestellt hatte. Die Atemfrequenz lag auf dem Fahrrad und auf dem Laufband bei 19/min, das Atemzugvolumen auf dem Fahrrad bei 599 ml, auf dem Laufband bei 621 ml.

DITTER und NOWACKI (9) geben ein durchschnittliches Atemminutenvolumen von $16,7 \pm 5,2$ l/min bei einer Atemfrequenz von 15/min für jugendliche Ruderer im Vorstartzustand an. MÄURER (47) fand bei seinen 16 - 18-jährigen Sportlern vor der Belastung Atemminutenvolumina zwischen 8,0 und 10,7 l. Sie benötigten dafür 17 - 21 Atemzüge/min und ein Atemzugvolumen von 504 - 965 ml. SPENGLER und MEINECKE(85) stellten bei jugendlichen Handballern bei der B-Jugend ein Atemminutenvolumen von 14,4 l mit einer Atemfrequenz von 19/min und einem Atemzugvolumen von 760 ml fest, bei der A-Jugend ein Atemminutenvolumen von 16,0 l, Atemfrequenz 20/min und Atemzugvolumen 800 ml.

Mit beginnender Belastung steigen alle Durchschnittskurven für das Atemminutenvolumen sowohl auf dem Laufband als auch auf dem Fahrrad bis auf einen Höchstwert an. Interessant ist aber, die Kurven auf dem Laufband und auf dem Fahrrad in den ersten Belastungsminuten zu vergleichen. Auf dem Laufband werden dabei trotz der geringeren Leistung während der Einlaufphase deutlich höhere Werte erreicht, die Atemfrequenz steigt sofort auf 33/min bei 1/4 Watt/kg Belastung in der ersten Minute an. Dieser Wert wird auf dem Fahrrad erst in der

6. Belastungsminute bei einer Leistung von 3 Watt/kg erreicht. Wir führen dies zurück auf die anfänglichen Schwierigkeiten der Probanden, den richtigen Laufrhythmus zu finden. Außerdem müssen sofort größere Muskelanteile, wie schon vorher besprochen, auf dem Laufband eingesetzt werden.

Anfänglich ist das charakteristische "Zusammenspiel" der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens, das notwendig ist, um bei erschöpfender Belastung ein maximales Atemminutenvolumen zu erreichen, durch einen gewissen Erregungszustand der jugendlichen Handballer wegen der ungewohnten Bedingungen der Laufbandbelastung gestört. Die hohe Atemfrequenz führt zu einem erhöhten O_2 -Verbrauch der Atemmuskulatur und einer erniedrigten O_2 -Ausnutzung der Atemluft. Wahrscheinlich könnte man die Schwierigkeiten der Probanden beim Übergang aus der Ruhe zur Laufbandbelastung abbauen, wenn sie durch mehrere Laufbanduntersuchungen besser auf diese Situation vorbereitet würden.

Die individuellen Maximalwerte des Atemminutenvolumens werden in der höchsten Belastungsstufe erreicht. Sie sind im wesentlichen von der Vitalkapazität und der Leistungsfähigkeit der Atemmuskulatur (HANSEN 17, HOLLMANN 22) abhängig, wobei besonders der 2. Faktor durch Training verbessert werden kann. KRAUSE (45) fand bei seinem Kollektiv von Normalpersonen ein durchschnittliches maximales Atemminutenvolumen von 89,9 l (64,8 - 117,6 l), bei Handballspielern und Hockeyspielern 115,8 l. DITTER und NOWACKI (9) konnten bei den für das FISA - Juniorennachwuchsmeisterschaft 1975 in Montreal nominierten Juniorenrudern mit einem Durchschnittsalter von 18 Jahren ein durchschnittliches maximales Atemminutenvolumen von $156,1 \pm 27,3$ l BTPS feststellen. Der von NOWACKI (65) untersuchte "Mexiko-Achter" erreichte sogar ein maximales Atemminutenvolumen von durchschnittlich 198,3 l.

Diese maximalen pulmonalen Leistungsgrößen bei den acht Rudern waren nur durch eine besonders ökonomische Leistungsatmung möglich. Schon in den ersten Belastungsstufen wurde ein AZV von 3,5 l ventiliert und danach nur noch gering bis zu 3,9 l - 4,1 l gesteigert. Die erhöhten Anforderungen der steigenden körperlichen Belastung an die Ventilation wurden

mit einer kontinuierlichen Steigerung der Atemfrequenz bis zu einer durchschnittlichen Af von 48 - 54/min beantwortet bei weitgehender Konstanz des AZV (NOWACKI 73). Diese hohen Atemminutenvolumendurchschnittswerte sind natürlich auf die längeren Trainingszeiten und die größere Gesamtzahl der Trainingsjahre dieser Eliteruderer zurückzuführen. So hohe Werte waren natürlich bei den von uns untersuchten Handballern wegen der andersartigen Trainingsgestaltung nicht zu erwarten. Das höchste maximale Atemminutenvolumen auf dem Fahrrad betrug bei unseren Untersuchungen 168,3 l, auf dem Laufband 176,8 l. Die Durchschnittswerte für das Atemminutenvolumen lagen auf dem Fahrrad bei 116,2 l und auf dem Laufband bei 134,4 l. Der auf dem Laufband erreichte Wert liegt dabei signifikant über dem Wert auf dem Fahrradergometer. Dies widerspricht den Befunden, die HOLLMANN und Mitarbeiter (29) bei ihren vergleichenden Untersuchungen auf dem Laufband und Fahrradergometer erhoben. Mit Eintritt in den Grenzbereich der Leistungsfähigkeit stieg das Atemminutenvolumen auf dem Fahrradergometer mit 117 l gegenüber 115 l geringfügig steiler an, die Differenz war aber nicht signifikant. bei den Untersuchungen HOLLMANN'S. Die Werte unserer Jugendlichen liegen sogar über dem von NOWACKI und KRAUSE (63) angegebenen Wert von einem durchschnittlichen Atemminutenvolumen von 111,5 l BTPS für die Mitglieder einer Hallenhandballbundesligamannschaft (VfL Bad Schwartau) mit einem Durchschnittsalter von 25 Jahren, die während der Untersuchungszeit 1972 sportmedizinisch von NOWACKI betreut wurde. SPENGLER und MEINECKE (85) fanden bei ihren Untersuchungen bei jugendlichen Handballern bei der B-Jugend durchschnittliche Maximalwerte von 104,6, bei der A-Jugend 113,1. Diese Untersuchungen wurden alle auf dem Fahrradergometer durchgeführt.

Als maximale Atemfrequenz gibt ASTRAND (5) um 40 Atemzüge/min an, AGNEVIK (1) spricht von einer maximalen Atemfrequenz von 50/min. Bei unseren Handballern fanden wir als Höchstwerte auf dem Fahrrad eine Frequenz von 47/min bei einem durchschnittlichen Atemzugvolumen von 2437 ml, auf dem Laufband eine Frequenz von 51 bei einem durchschnittlichen Atemzugvolumen von 2674 ml.

Nach der Belastung, während der Erholungszeit, sanken die Minutendurchschnittskurven des Atemminutenvolumens und der Atemfrequenz schnell ab, während das Atemzugvolumen nur langsam seinen Ruheausgangswert wieder erreichte.

Insgesamt muß man sagen, daß die jugendlichen Handballer des TV-Hüttenberg, wenn man sie mit der von NOWACKI und KRAUSE untersuchten Bundesligamannschaft vergleicht, jedoch recht gute Werte erreichten und eine gute pulmonale Leistungsfähigkeit boten, dabei liegen die Werte auf dem Laufband erheblich über den von NOWACKI gefundenen Werten. Leider wurden damals keine Laufbandbelastungen bei den Bundesligaspielern vorgenommen.

Auf der anderen Seite war natürlich nicht zu erwarten, daß sie die respiratorische Kapazität der leistungsfähigsten Ruderer erreichen. Dies ist auf die geringere Trainingsquantität und schlechtere Trainingsqualität der jugendlichen Handballer zurückzuführen. Aufschlußreich ist hierbei der Vergleich mit den zur gleichen Zeit von ROSENTHAL (79) untersuchten Ruderern.

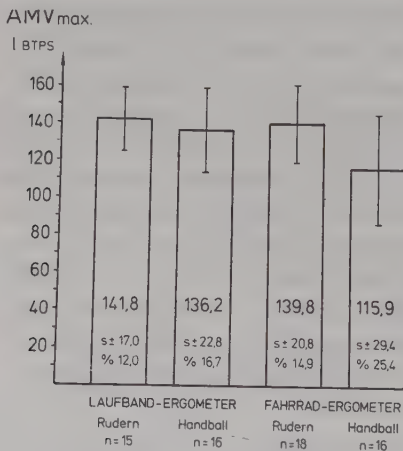


Abb. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Atemminutenvolumens (BTPS) von jugendlichen Handballspielern und Wettkampfruderern nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Fahrradergometer und Laufband.

Die jugendlichen Wettkampfruderer erreichten mit 139,8 l gegenüber 115,9 l der Handballer auf dem Fahrrad deutlich höhere Werte, während auf dem Laufband mit 141,8 l gegenüber 136,2 l die Differenz wesentlich kleiner ist. Die Ruderer können im Gegensatz zu den Handballern das Atemminutenvolumen auf dem Laufband nur geringfügig steigern.

6. Absolute Sauerstoffaufnahme

Die kombinierte Methodik der Spiroergometrie, speziell die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme, erlaubt eine exakte, quantitativ erfaßbare Registrierung der Leistungsgrenzen von Herz, Kreislauf und Atmung (GADERMANN 15, HOLLMANN 26, MELLEROWICZ 54, NOWACKI 62). Zu Beginn der Leistung steigt die O_2 -Aufnahme in der Anlaufzeit proportional der Größe der Leistung und umgekehrt proportional der Leistungsfähigkeit des Kreislaufs und Atemapparates an. In der Anlaufphase bleibt die O_2 -Aufnahme wesentlich hinter der der Leistung adäquaten O_2 -Aufnahme zurück (MELLEROWICZ 55). Infolgedessen entsteht eine O_2 -Schuld des Organismus mit proportionalem Anstieg der Milchsäure im Muskel (HILL 21). Für die gleiche Leistung wird in der Anlaufphase mehr O_2 gebraucht als im weiteren Verlauf. Da bei überwiegend anaerober Arbeit der Wirkungsgrad des Muskels klein ist, wird die in der Anlaufphase entstehende O_2 -Schuld größer als die Differenz zwischen der der Leistung adäquaten und der wirklichen O_2 -Aufnahme in der Anlaufphase.

Bei unseren Verlaufskurven auf dem Laufband und auf dem Fahrrad ist der Anstieg auf dem Laufband in den ersten beiden Belastungsminuten stärker als auf dem Fahrradergometer. Die Erklärung für diese erhöhte anfängliche Sauerstoffaufnahme wurde schon in den vorangegangenen Kapiteln genannt. Bis hin zur maximalen Belastung liegen die Werte auf dem Laufband deutlich über den Werten auf dem Fahrradergometer. Auch dieser Befund widerspricht den Ergebnissen von HOLLMANN (29), der im submaximalen Arbeitsbereich bei Laufband und Fahrradergometerbelastung eine weitestgehende identische Sauerstoffaufnahme fand.

Die maximale Sauerstoffaufnahme, die von HOLLMANN (26) zu Recht auch als Bruttokriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit bezeichnet wird, erfaßt die Kapazität mehrerer abhängiger Funktionssysteme bei erschöpfender körperlicher Belastung. Sie wird erreicht, wenn maximale dynamische Arbeiten mindestens über eine Zeitspanne von 5 - 6 min unter dem Einsatz großer Muskelgruppen durchgeführt werden. Die von uns angegebenen maximalen Sauerstoffwerte auf dem Laufband

und dem Fahrradergometer dürfen nicht als maximale aerobe Arbeitskapazität oder gar als Sauerstoffdauerleistungsgrenze angesehen werden, sondern müssen als integraler Grenzwert der maximalen aeroben und maximalen anaeroben Kapazität aufgefaßt werden. Die maximale anaerobe Kapazität ist hierbei definiert durch die maximale Sauerstoffschuld, einschließlich der Grenzbelastung des anoxidativen Stoffwechsels mit höchstmöglichen Lactatanstieg. Das angeblich zuverlässigste Merkmal des Erreichens der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme, nämlich das Ausbleiben eines weiteren Anstiegs der Sauerstoffaufnahme trotz einer zusätzlichen Erhöhung der Belastungsstufe (im angloamerikanischen Schrifttum "levelling off" genannt), war bei unseren beiden Belastungsarten nicht zu beobachten. Wahrscheinlich war die Differenz zwischen unseren Belastungsstufen zu groß, um diesen Zeitpunkt genau zu erfassen.

DRANSFELD (11) gibt für 16- 17-jährige Jugendliche 2,7 l als maximale Sauerstoffaufnahme an, HOLLMANN (27) stellte bei 18 - 19-Jährigen Werte um 3,1 l fest. Die enorme Steigerungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems als Folge eines intensiv betriebenen Kraft-Ausdauertrainings konnten DITTER und NOWACKI (9) bei 27 für das FISA - Juniorennachwuchssportler in Montreal nominierten jugendlichen Ruderern aufzeigen. Die untersuchten Junioren lagen schon im Alter von 18 Jahren mit einer maximalen O_2 -Aufnahme von durchschnittlich 6220 ml O_2 STPD im Bereich des Eliteachters, der 1968 in Mexico-City eine Goldmedaille gewann (NOWACKI 65). Diese hohe maximale O_2 -Aufnahme bei diesen jugendlichen Ruderern zeigt den großen Erfolg, den ein intensives Trainingsprogramm auf die maximale Sauerstoffaufnahme nehmen kann. Die von NOWACKI mitbetreute Handballbundesligamannschaft aus Schwartau erreichte 1972 nach einem intensiv betriebenen Kraft-Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer eine maximale Sauerstoffaufnahme im Durchschnitt von 4403 ml, der Handball A-Kader lag bei einer Untersuchung in der Saison 73/74 (NOWACKI 71) bei durchschnittlich 4536 ml. Leider wurden damals keine Laufbanduntersuchungen bei diesen Handballern durchgeführt.

Wir fanden bei unseren A- und B-jugendlichen Handballern des TV-Hüttenberg, beide Mannschaften standen im Deutschen Endspiel um die Deutsche Jugendmeisterschaft 1978, bei unserem körpergewichtsbezogenen Belastungsverfahren auf dem Fahrradergometer eine maximale durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von 3562 ml und auf dem Laufband einen signifikant höheren Wert von 4254 ml. Bisher liegen keine Untersuchungen über die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit jugendlicher Handballer mittels körpergewichtsbezogener Belastung auf dem Laufband vor.

Seine vergleichenden Untersuchungen über das Verhalten der Sauerstoffaufnahme, des Atemminutenvolumens, des Atemäquivalents, der Pulsfrequenz und des Sauerstoffpulses im submaximalen und maximalen Arbeitsbereich auf dem Laufband und einem Fahrradergometer führte HOLLMANN (29) an 11 gesunden Sportstudenten durch. Die durchschnittliche Größe betrug 174 cm, das mittlere Gewicht 72,5 kg, das Durchschnittsalter 24,7 Jahre. Diese Sportstudenten betrieben im Rahmen ihres Sportstudiums üblichen Sport verschiedenster Richtungen, ohne in einer speziellen Sportart Leistungssportler zu sein. Die Laufbandbelastung begann mit 3 km/h und wurde nach jeweils 3 Arbeitsminuten um stets 4 km/h bis 15/h gesteigert. Dann erfolgte die Einstellung eines Neigungswinkels von 4° , 6° etc. Die Belastung auf dem Fahrradergometer erfolgte nach der Standardtestmethode von HOLLMANN und VENRATH, sie beginnt mit einer Belastungsstufe von 3 mkp/sec, die Belastungsintensität wird nach jeweils 3 min auf jeder Belastungsstufe um stets 4 mkp/sec bis in den Grenzbereich der Leistungsfähigkeit gesteigert. Nur die Werte einer jeder 3. Arbeitsminute fanden Berücksichtigung. Trotz der anderen Belastungssteigerung erhob auch HOLLMANN bei diesen vergleichenden Untersuchungen den wesentlichen Befund, daß die maximale Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband einen hochsignifikant höheren Wert als auf dem Fahrradergometer erreichte. Da auch der durchschnittliche maximale Herzschlagfrequenzwert höher lag, wird ein vorzeitiger Arbeitsabbruch auf dem Fahrradergometer als Ursache für die Differenz diskutiert. Offensichtlich ist die an der Arbeit beteiligte Muskulatur beim Radfahren prozentual kleiner als beim Laufen, speziell beim Bergauflaufen.

Amerikanische und skandinavische Arbeitskreise fanden die höchsten Sauerstoffaufnahmewerte auf dem Laufband ebenfalls beim Bergauflaufen, die Werte lagen durchschnittlich um 2 - 5 % höher als die bei maximaler Laufbandbelastung in der Ebene.

Wenn man die genauen Werte bei den Untersuchungen HOLLMANN'S mit 4010 ml auf dem Laufband und mit 3650 ml auf dem Fahrradergometer betrachtet, dann fällt auf, daß die Differenz bei unseren Untersuchungen mit 692 ml gegenüber 360 ml bei HOLLMANN deutlich größer ist.

Die absolute Sauerstoffaufnahme erreicht bei uns im maximalen Bereich für die Laufbandarbeit einen Wert von 4254 ml. Demgegenüber steht bei maximaler Arbeit auf dem Fahrrad eine maximale Sauerstoffaufnahme von 3562 ml.

HENSSGE (19) berechnete nach Ergebnissen von ISRAEL und Mitarbeitern (34) für eine große Stichprobe von männlichen Sportlern ($n = 485$), die Beziehung zwischen Körpermasse und maximaler Sauerstoffaufnahme mit Hilfe von Polynomen in der Form $Y = a + bx^2 + cx^3$. Wahrscheinlich aufgrund von geringerem Stichprobenumfang und inhomogenem Trainingszustand weit auseinanderliegender Gewichtsgruppen innerhalb untersuchter Stichproben entgeht vielen Autoren, daß die Beziehung zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme und Körpermasse offenbar linear proportional ist. Die maximale Sauerstoffaufnahme ist mit der Körpermasse ($r = 0,63$), mit der fettfreien Körpermasse ($r = 0,85$) bzw. mit der aktiven Körpermasse ($r = 0,91$) straff korreliert (HENSSGE 19).

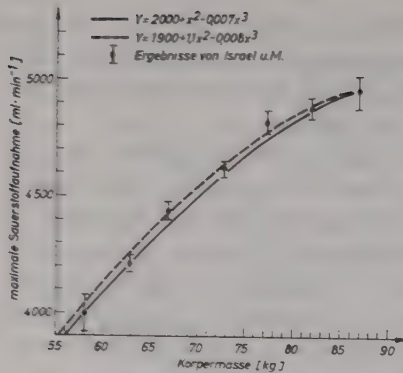


Abb. 13: Ausgleichung der Versuchsergebnisse von ISRAEL bezüglich Körpermasse und maximaler Sauerstoffaufnahme mit Hilfe von Polynomen der Form $Y = a + b x^2 + c x^3$. Diese Polynome passen sich dem Trend der Versuchsergebnisse gut an, die mittlere Abweichung der Meßwerte von den Polynomen ist minimal.

Die von uns untersuchten jugendlichen Handballer liegen mit einer durchschnittlichen Körpermasse von 70,4 kg und einer durchschnittlichen maximalen O_2 -Aufnahme auf dem Laufband von 4254 ml etwas unter der von HENSSGE nach Daten von ISRAEL errechneten Kurve nach der Formel:

$$y = 2000 + x^2 - 0,007 x^3$$

Auf dem Fahrradergometer liegen sie erheblich unter dieser Kurve. Die abhängige Variable bedeutet die maximale Sauerstoffaufnahme, die unabhängige Variable ist die Körpermasse. Nach dieser Kurve muß man also die gemessene maximale O_2 -Aufnahme auf dem Fahrradergometer als viel zu niedrig annehmen. Die kardio-pulmonale Leistungsfähigkeit der jugendlichen Handballer würde auf Grund dieser Ergebnisse viel zu gering eingeschätzt werden, besonders auch im Hinblick auf die Wettkampfprognose. Dadurch könnte es zu einer falschen Trainingsplanung, zu Fehl- und Überbelastung im Training kommen. Trainer und Athleten könnten auf die Idee kommen, die aus biomechanischen Gründen auf dem Fahrradergometer zu gering ausgefallenen Meßwerte zum Anlaß zu nehmen, um das Trainingsprogramm zu verändern.

Die maximale Sauerstoffaufnahme ist abhängig von der ausgeübten Sportart mit ihrer spezifischen Wettkampfbeanspruchung und ihren Trainingserfordernissen. Dies zeigen deutlich unsere vergleichenden Untersuchungen auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband. Sie sollten auf einem Gerät untersucht werden, das den Belastungen der Handballer während des Wettkampfes am meisten entspricht. Bei allen Ballsportarten oder auch in der Leichtathletik sind in großem Maße Schnelligkeits- und Antrittsübungen notwendig, um die Kontraktions- und Reaktionsgeschwindigkeit der Muskulatur zu verbessern. Im Training und im Wettkampf wird die Koordinationsfähigkeit der speziell am Handballspiel beteiligten Muskelgruppen verbessert. Über die Koordination beim Wurf, Sprung, Lauf oder bei rhythmischen Bewegungen der Handballer entscheidet der Übungszustand der agonistisch-antagonistisch tätigen Muskeln für den jeweiligen Bewegungsablauf. Eine Verbesserung der Koordination wird durch Übung erreicht. Die Bewegungen werden geschmeidiger und ökonomischer,

so daß der Sauerstoffverbrauch und damit der Energieaufwand für die muskuläre Beanspruchung abnimmt. Die verbesserte Bewegungsökonomie und auch eine beschleunigte Erholung der Muskulatur (HETTINGER 20) ermöglicht es höhere Leistungen zu vollbringen. Jede Sportart verlangt eine besondere Trainingsform, dabei werden die für die jeweilige Sportart wichtigen Teile des Muskelapparates besonders beansprucht.

Die absolute maximale Sauerstoffaufnahme ist für das Handballspiel ein sehr wichtiger Gesichtspunkt. Ein guter Rückraumschütze wirft in einem Spiel mindestens 10 mal auf das Tor, und der Torwurf ist die wichtigste Aktion im Handballspiel. Dabei ist eine erhebliche Konzentration notwendig, und konzentrieren kann sich nur ein Spieler, der eine gute Kondition hat. Auch muß er die Spielsituation erkennen können und wissen, wann er schießen muß. Ein erhebliches Maß an Kondition und Konzentration erfordert ein Tempogegenstoß mit abschließendem Torwurf, auch die Abwehrarbeit darf nicht vernachlässigt werden.

Die hohe O_2 -Aufnahme unserer jugendlichen Handballer auf dem Laufband im Vergleich zum Fahrradergometer korreliert mit dem Saisonergebnis, das von den Jugendlichen des TV-Hüttenberg erreicht wurde. Beide Jugendmannschaften standen im Deutschen Endspiel, dabei wurden die B-Jugendlichen Deutscher Meister 1978. Das Ergebnis des A-Jugendspiels wurde wegen eines Regelverstoßes nicht anerkannt, dieses Spiel konnte wegen Terminschwierigkeiten auch nicht wiederholt werden. Die hohen absoluten maximalen Sauerstoffaufnahmewerte auf dem Laufband bestätigen die ausgezeichneten Ergebnisse, die unsere jugendlichen Handballer erreichten. Die auf dem Fahrradergometer erreichten Werte liegen gering über den Werten, die von jugendlichen Schulsportlern erreicht werden bei einem Trainingsaufwand von ca. fünf Stunden pro Woche (MÄURER 47). Danach hätte man keine gerechte Aussage über die sehr gute kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der jugendlichen Handballer geben können. Nach ASTRAND (3) ist die beste Methode, das Leistungsvermögen eines Sportlers festzustellen, ihn um Sekunden bzw. Zentimeter kämpfen zu lassen. Bei den jugendlichen Handballern heißt das, sie an

der gewonnenen Meisterschaft zu messen. Im Wettkampf, der letztlich entscheidend ist für die wirkliche Leistungsfähigkeit der Sportler, waren unsere Handballer sehr erfolgreich, deshalb ist es auch zu erwarten, daß sie bei entsprechenden sportartspezifischen Tests Spitzenwerte erreichen. Hätte man die körperliche Leistungsfähigkeit nur nach dem Fahrradergometer beurteilt, so wäre sie sicherlich falsch eingeschätzt worden.

Wie wichtig ein sportartspezifisches Untersuchungsgerät ist, wird noch besser hervorgehoben, wenn wir die Ergebnisse von ROSENTHAL(79) betrachten.

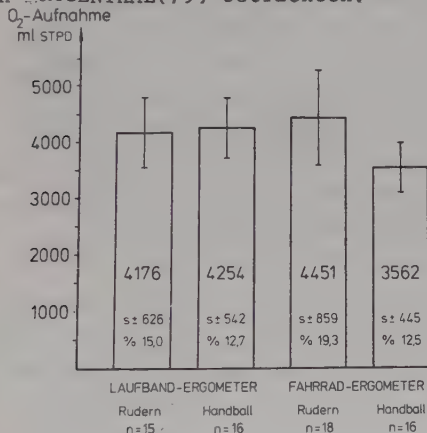


Abb. 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen absoluten Sauerstoffaufnahme (STPD) bei jugendlichen Handballspielern und Wettkampfruderern nach körperrgewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Fahrradergometer im Sitzen und auf dem Laufband.

Die Ruderer erreichten auf dem Fahrradergometer mit 4451 ml eine maximale absolute Sauerstoffaufnahme, die weit über dem Ergebnis liegt, das die Handballspieler mit 3562 ml auf diesem Gerät erreichen. Dies beweist, daß das Fahrradergometer für die Ruderer ein geeignetes Untersuchungsgerät ist. Dies wurde auch schon durch viele frühere Untersuchungen

bestätigt. NOWACKI (72) konnte auf Grund von Untersuchungen auf dem Fahrradergometer voraussagen, welche Rudermannschaft im Wettkampf wahrscheinlich gewinnen würde. Diese Prognose bestätigte sich dann tatsächlich. Wesentlich schlechter sieht das Ergebnis für die Ruderer auf dem Laufband aus, sie erreichten dort mit 4176 ml einen signifikant niedrigeren Wert. Sie lagen sogar geringfügig unter dem Ergebnis, das die Handballer mit 4254 ml auf dem Laufband erreichten. Diese höhere maximale absolute Sauerstoffaufnahme der Handballer auf dem Laufband gewinnt noch an Bedeutung, wenn man sich vor Augen hält, daß die jugendlichen Wettkampfruderer täglich mindestens 2 Stunden Kraft und Ausdauer trainierten, während die jugendlichen Handballer nur 2 mal in der Woche 1,5 Stunden trainierten. Um unsere Ergebnisse fortzuführen, müssen natürlich weitere sportartspezifische Belastungsuntersuchungen von Handballmannschaften durchgeführt werden. Nur unter der Voraussetzung einer vergleichbaren Technik bei den Untersuchungen ist eine Rangfolge in der Beurteilung der anderen untersuchten Handballmannschaften möglich.

7. Relative Sauerstoffaufnahme

Die relative Sauerstoffaufnahme ist bei der Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Athleten unterschiedlichen Körpergewichts ein noch aufschlußreicheres Kriterium als die maximale Sauerstoffaufnahme. Insbesondere hat sie eine große Bedeutung bei vergleichenden Untersuchungen von Kindern und Jugendlichen gleichen Alters, jedoch unterschiedlicher Entwicklungsstadien in verschiedenen Sportarten. In der USA vertritt man die Meinung, daß die relative O_2 -Aufnahme eines Jugendlichen nur um 10 - 15 ml im Training zu steigern ist, da es sich um eine "biologische Talentgröße" handeln soll. Die Untersuchung von IKAI (31) scheint darauf hinzuweisen, daß die Reaktion auf den Trainingsreiz, der die Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit als Ziel hat, ungefähr ab dem 12. Lebensjahr optimal ist. Dies bestätigt, daß gerade die relative maximale Sauerstoffaufnahme sehr wichtig ist, um schon sehr frühzeitig bei jugendlichen Sportlern Talente für die Ausdauerdisziplinen zu finden und schon sehr frühzeitig zu fördern. Die bisher höchsten Werte in der Weltliteratur registrierten SALTIN und ASTRAND (81) für den schwedischen Skilangläufer A. Rönnlund (66,5 kg, 177 cm) mit 85,1 ml O_2 /kg STPD und für den Olympiasieger im 1500 m - Lauf von Mexiko-City K.Keino (60 kg, 178 cm) mit 82,0 ml O_2 /kg STPD. KRAUSE und NOWACKI (45) fanden bei dem 40-fachen Deutschen Meister im Skilanglauf W. Demel (66 kg, 168 cm) beim Sommertraining 1969 am Silvretta-Stausee eine relative Sauerstoffaufnahme von gut 90 ml O_2 /kg. Bei 18-jährigen Ruderern, die für das FISA-Juniorennachampionat in Montreal nominiert waren, konnten DITTER und NOWACKI (9) mit $76,3 \pm 6,2$ ml eine maximale relative Sauerstoffaufnahme feststellen, die über den von NOWACKI (63) angegebenen Richtwert für Eliteruderer (60 ml/kg) lag. Dieses letzte Beispiel zeigt, wie durch ein intensives Ausdauertraining nach der Entdeckung von Talenten und entsprechender Förderung die relativen maximalen aeroben Kapazitäten gesteigert werden können. Die jetzt vorangestellten Werte wurden insgesamt bei Belastung auf dem Fahrradergometer gefunden.

Bei unseren Untersuchungen auf dem Fahrradergometer steigt die relative Sauerstoffaufnahme bei wachsender Belastung ganz linear an bis zum Höchstwert in der letzten Belastungsminute, um nach Abbruch der Belastung wieder steil abzufallen. Ganz anders verhält sich die Durchschnittskurve auf dem Laufband. Dabei steigt die Kurve anfangs steil an. Die Erklärung für dieses Phänomen haben wir schon bei der Diskussion der absoluten Sauerstoffaufnahme gegeben. Danach erfolgt ein linearer Anstieg der Kurve bis zur 9. Belastungsminute, geht über in ein Plateau und fällt nach der Belastung wieder steil ab. Alle Werte im submaximalen Arbeitsbereich liegen deutlich über den Werten auf dem Fahrradergometer. Beim Vergleich der Kurven auf beiden Untersuchungsgeräten liegt die Vermutung nahe, daß auf dem Fahrradergometer eine höhere, relative Sauerstoffaufnahme möglich gewesen wäre, daß aber die Handballer wegen der einseitigen Belastung der Beinmuskulatur nicht mehr in der Lage waren weiterzutreten. Das Erreichen des Plateaus auf dem Laufbandergometer spricht dafür, daß in der 9. Belastungsminute ein Höchstwert erreicht wird, der nicht mehr überschritten werden kann, da die Handballer auf dem Laufband sportartspezifisch voll ausbelastet werden. Beim Vergleich der Durchschnittswerte der maximalen relativen Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband und dem Fahrradergometer liegen die Werte auf dem Laufband mit $60,9 \pm 8,9$ ml O_2 /kg gegenüber $50,9 \pm 5,9$ ml auf dem Fahrrad signifikant höher. Wenn man die höchsten, einzelnen Maximalwerte gegenüberstellt, so erreicht der Beste auf dem Laufband 68,4 ml, auf dem Fahrrad 60,9 ml. Durch diese Ergebnisse wird bestätigt, daß man erst bei entsprechender sportartspezifischer Belastung, dies bedeutet bei den Handballern in unserem Fall Belastung auf dem Laufband, aufschlußreiche Einblicke in die wirkliche kardiale und pulmonale Leistungsfähigkeit eines Sportlers gewinnen kann.

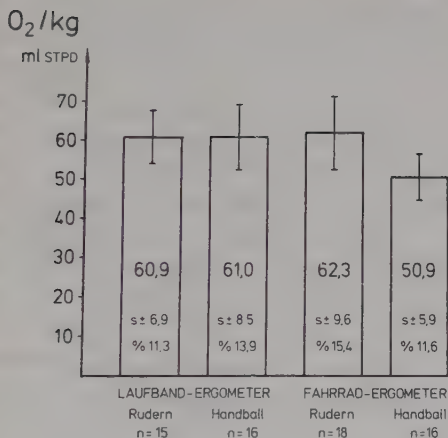


Abb. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Sauerstoffaufnahme (STPD) pro Kilogramm Körpergewicht bei jugendlichen Handballern und Wettkampfruderern nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Fahrradergometer im Sitzen und auf dem Laufband.

Die Bedeutung dieser Ergebnisse wird noch unterstrichen durch einen Vergleich mit den jugendlichen Wettkampfruderern, die parallel durch ROSENTHAL (79) untersucht wurden.

Hier spiegelt sich das Ergebnis wieder, das wir schon bei der absoluten Sauerstoffaufnahme besprochen hatten. Bei sportart-spezifischer Belastung erreichen die Handballer Werte, die in ähnlichen Bereichen liegen wie bei der trainingsintensiven Sportart Rudern.

8. Sauerstoffpuls

Eine entscheidende Leistungsgröße zur Beurteilung der kardio-zirkulatorischen Leistungsreserven ist der Sauerstoffpuls. Die pro Pulsschlag aufgenommene Sauerstoffmenge ist abhängig von der Größe des Schlagvolumens und der Größe der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz (REINDELL 77). Damit zeigt der O_2 -Puls neben der Leistungsfähigkeit auch den Grad der Ökonomie der Herzarbeit an. Zwischen der Größe des O_2 -Pulses in Ruhe und während der Leistung und der Leistungsbreite des Kreislaufs bestehen gesetzmäßige Beziehungen (ASTRAND 4), REINDELL 76, MELLEROWICZ und PETERMANN 56). Nach Untersuchungsergebnissen von DRANSFELD (11) und MELLEROWICZ (55) ergeben sich, wenn man den O_2 -Puls von Kindern und Jugendlichen zum Körpergewicht in Beziehung setzt, im Vergleich mit den Werten bei 20 - 30-jährigen, gesunden untrainierten Männern keine signifikanten Unterschiede in den sich überschneidenden Gewichtsgruppen. Die Art der ergometrischen Arbeit führt bei gleichen submaximalen (MELLEROWICZ und NOWACKI 53) als auch bei maximalen Leistungen (GALLE 16) nicht zu signifikanten Änderungen des O_2 -Pulses, es ist dabei unwesentlich, ob die Untersuchungen bei Fußkurbelarbeit im Liegen, Sitzen oder bei Handkurbelarbeit im Stehen durchgeführt wird.

Als Normalwert für Männer des 3. Lebensjahrzehnts geben HOLLMANN und VENRATH (26) 15 - 17 ml Sauerstoff pro Herzschlag an. REINDELL (76) nennt gleichfalls einen Wert um 17 ml O_2 pro Herzschlag. Höchstausdauer-Leistungssportler internationaler Klasse erreichen Werte von 35 - 40 ml (NOWACKI 66). Diese Werte hält auch ISRAEL (34) aufgrund seiner Herzvolumenbestimmung und Berechnung des Herzzeitvolumens für möglich. MÄURER (47) fand bei seinen Untersuchungen bei jugendlichen Handballern bei gewichtsbezogener Belastung auf dem Fahrrad maximale Sauerstoffpulse von $20,9 \pm 3,3$ ml VO_2 pro Herzfrequenz bei einem Durchschnittsalter von 18,7 Jahren.

Das Durchschnittsalter unserer Jugendlichen betrug 16,4 Jahre. Wenn man bei einem Leistungsvergleich mit den von MÄURER untersuchten Handballer das Durchschnittsalter berücksichtigt,

kann man unsere Handballer mit einem maximalen Sauerstoffpuls wert von 19,4 ml wohl in einem entsprechenden Leistungsbereich einordnen. Bei den Belastungen auf dem Fahrradergometer im Sitzen lagen bei uns fast die gleichen Bedingungen vor wie bei MÄURER.

Der Wert auf dem Laufband liegt mit 22,4 ml O_2 /pro Herzschlag signifikant darüber, ebenso verhält es sich mit den Werten im submaximalen Leistungsbereich. Die Jugendlichen kommen erst bei der Belastung auf dem Laufband in den Grenzbereich ihrer individuellen sportlichen Leistungsfähigkeit. Erst dort wird der maximale Leistungsbereich in der höchsten Belastungsstufe erreicht. Erst bei der sportartspezifischen Laufbandbelastung wird eine gerechte Aussage über die tatsächliche Kreislaufleistungsfähigkeit möglich. Dies widerspricht der Aussage von GALLE und MELLEROWICZ (16), daß O_2 -Aufnahme und Herzschlagfrequenz von der Art der ergometrischen Arbeit annähernd in gleichem Maße beeinflusst werden. Auf dem Laufband wird, wie schon mehrmals besprochen, mehr Muskulatur beansprucht wie auf dem Fahrrad. In der Peripherie der Muskulatur werden deshalb mehr Gefäße eröffnet. Der für die Arbeit der Muskulatur benötigte Sauerstoff wird dem Blut entnommen. Da sich die Durchblutung nach den metabolischen Bedürfnissen richtet, und es zu einem Absinken des PO_2 kommt, erfolgt ein Regulationsmechanismus mit einer Vasodilatation der Gefäße. Ein weiterer wichtiger Mechanismus bei diesen Überlegungen ist auch, daß es bei langfristigen Änderungen der lokalen Durchblutung zu einer Zunahme der Vaskularisierung der Muskulatur (Kapillarisation) kommt. Dies ist natürlich der Fall bei einer regelmäßigen Beanspruchung der sportartspezifischen Muskulatur beim Handballtraining.

Ich hatte vorher geschrieben, daß der Sauerstoffpuls von der Größe des Schlagvolumens, der arterio-venösen O_2 -Differenz des Blutes und der Sauerstoffbindungsfähigkeit abhängig ist. Wird eine entsprechende Belastungsform gewählt, wie es sportartspezifisch das Laufband nach unseren Untersuchungen für die Handballer zu sein scheint, so muß sich bei dem erhöhten Sauerstoffverbrauch in der Peripherie der Muskulatur zwangsläufig der maximale Sauerstoffpuls erhöhen, wenn vom Herz-Kreislaufsystem diese Steigerung möglich ist, und das Herzzeitvolumen noch nicht ein limitierender Faktor ist.

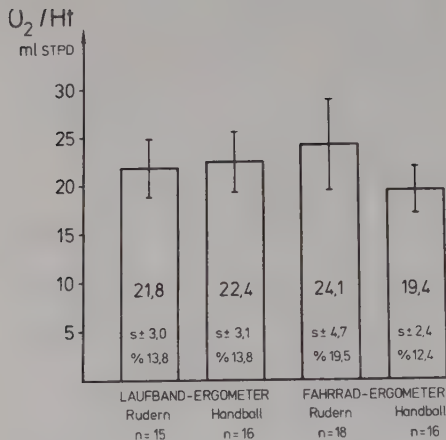


Abb. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen des maximalen Sauerstoffpulses bei jugendlichen Handballern und Wettkampfruderern nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Fahrradergometer im Sitzen und auf dem Laufband.

Auch bei dieser entscheidenden Leistungsgröße wird noch eine bessere Beurteilung der kardiozirkulatorischen Leistungsreserven der Handballer auf dem Laufband möglich, wenn man sie den parallel untersuchten Wettkampfruderern (ROSENTHAL 79) gegenüberstellt.

9. Atemäquivalent

Das Atemäquivalent ist ein Maß für die Atmungsökonomie (HOLLMANN 28). Je kleiner sein Wert ist, desto ökonomischer ist die Atmung (MELLEROWICZ 50). Bei unseren jugendlichen Handballern lag der Durchschnittswert des Atemäquivalents vor der Belastung auf dem Fahrradergometer bei 30,3. Der höchste Ruhewert lag bei 41,1, der niedrigste bei 23,3. Auf dem Laufband wurden folgende Werte erreicht: Durchschnittswert 32,1, der höchste Wert 38,1, der niedrigste lag bei 25,9.

Die z.T. sehr stark erhöhten Anfangswerte sind sicherlich auf psychische Einflüsse vor der Untersuchung zurückzuführen. Trotz Abwarten und Beruhigen über 5 Minuten verbesserten sich diese Werte nicht, so daß wir diese hyperventilationsbedingten Anfangswerte in Kauf nehmen mußten. Sowohl bei den Untersuchungen auf dem Fahrrad als auch bei den Untersuchungen auf dem Laufband fällt das Atemäquivalent nach Arbeitsbeginn zunächst auf einen Minimalwert ab, um mit zunehmender Belastung wieder anzusteigen. Der niedrigste Wert des Atemäquivalents, bei dem die größte Atmungsökonomie vorliegt, wird auf dem Fahrrad in der 3. Belastungsminute bei 2 Watt/kg erreicht. Auf dem Laufband wird der niedrigste Wert in der 2. Belastungsminute erreicht, dies entspricht wegen der vorgeschalteten Einlaufphase einer Belastung von 1/4 Watt/kg.

Schon im submaximalen Leistungsbereich liegen die Durchschnittswerte auf dem Laufband über den Durchschnittswerten auf dem Fahrradergometer. Die Atmung auf dem Fahrradergometer war bei den jugendlichen Handballern ökonomischer, deshalb mußte von den Probanden auf dem Laufband eine gesteigerte Atemarbeit geleistet werden mit der gesamten an der Atmung beteiligten Muskulatur. Dazu muß natürlich für die Atemmuskulatur zusätzliche Energie aufgewandt werden. Damit ist es auch zu erklären, daß auf dem Laufband nicht die gleiche physikalische Leistung wie auf dem Fahrradergometer von den jugendlichen Handballern erbracht werden konnte.

In der weiteren Belastungsperiode verschlechtert sich die Ventilationsökonomie, es kommt zu einem Anstieg des Atemäquivalents als Ausdruck der sinkenden Atemökonomie (HANSEN 17).

Wir konnten bei unseren Untersuchungsergebnissen den von NOWACKI (69) als kritisch bezeichneten Wert des Atemäquivalents von 30 ± 3 bestätigen. Etwa in diesem Bereich erreichte ein Großteil der untersuchten Handballer den Erschöpfungspunkt.

Der Durchschnittswert, bei dem die Probanden die Belastung abbrachen, liegt sowohl auf dem Fahrradergometer als auch auf dem Laufbandergometer bei einem Atemäquivalent von 32,3. Der höchste Einzelwert, der erreicht wurde, lag bei 38,1. Interessant ist es, daß ein Proband bei einer Belastung von 5 Watt/kg auf dem Fahrrad erst einen Atemäquivalentswert von 23,7 hatte. Die hervorragende körperliche Leistungsfähigkeit dieses jungen Handballers ist mit der ökonomischen Atemarbeit bis hin zur höchsten Belastungsstufe zu erklären. Dies zeigt, wie wichtig das Erlernen und das Training einer Leistungsatmung für die Verbesserung der körperlichen und biologischen Leistungsfähigkeit für Jugendliche ist.

In der ersten Erholungsminute steigt die Kurve des Atemäquivalents steil an. Hier ist die Atmung unmittelbar nach der bis zur Grenze der Erschöpfung geleisteten Arbeit am unökonomischsten. In dieser Phase hat die Ventilation eine dominierende Aufgabe in der kurzzeitigen Regulation des Säuren-Basen-Haushalts, der Sportler versucht durch Hyperventilation Kohlensäure "abzurauchen". Nach der 3. Erholungsminute fällt die Durchschnittskurve des Atemäquivalents auf dem Fahrradergometer ab, während sie auf dem Laufbandergometer weiterhin ansteigt. Die pulmonale Kapazität scheint bei der Belastung auf dem Laufband bei den jugendlichen Handballern tatsächlich bis an die oberste Grenze ausgeschöpft worden zu sein. Die Handballer waren auch bei den Laufbanduntersuchungen nach der Belastung meistens total erschöpft und einem Zusammenbruch nahe. Der Verlauf des Atemäquivalents in der Erholungsphase zeigt an, daß durch die scheinbar größere Belastung die Erholungsfähigkeit der Handballer noch nicht soweit fortgeschritten ist wie auf dem Fahrradergometer. Es kommt nach Laufbandbelastung bei unserem Untersuchungsgut erst nach längerer Erholungsperiode zu einer Normalisierung der Atmung.

10. Ventilations-RQ

Der Ventilations-RQ ist Ausdruck der momentanen Ventilationsverhältnisse der Atemgase CO_2 und O_2 . Er wird nach der Formel Kohlendioxyd-Ausscheidung dividiert durch die Sauerstoffaufnahme berechnet (NOWACKI 60). Der Zusatz Ventilation weist darauf hin, daß der respiratorische Quotient nicht unter Grundumsatzbedingungen gemessen wird, also kein metabolischer RQ ist. NOWACKI (62) forderte, daß der Ventilations-RQ in der Ruhephase vor der Belastung möglichst 0,8 betragen, keinesfalls 0,90 übersteigen soll. Der Durchschnittswert des RQ's beträgt bei den jugendlichen Handballern vor der Belastung auf dem Fahrradergometer 0,82, vor der Laufbandbelastung 0,85. Wir konnten also unsere Probanden bis auf wenige Ausnahmen vor den ergometrischen Untersuchungen soweit beruhigen, daß größtenteils die von NOWACKI gewünschten RQ-Werte eingehalten werden konnten. Lediglich 3 Probanden vor der Laufbandbelastung neigten zur Hyperventilation, es kam dabei zur vermehrten Abatmung von CO_2 . Wir konnten dabei leider nicht abwarten, bis diese Periode der psychischen Hyperventilation vorüber war, da wir nach den Empfehlungen von ROSSIER (80) gezwungen waren, bei maximalen spirometrischen Leistungsmessungen die leistungs- und wett-kampfgerechten Untersuchungszeiten einzuhalten. Bedingt durch die Hyperventilation lagen deshalb die Ruheausgangswerte bei diesen Jugendlichen bei 0,98, 0,96 und 1,11. Bei den Belastungen auf dem Fahrradergometer kommt es zu Beginn der Belastungsphase in der 2. Minute zu einem deutlichen Abfall bis auf einen Durchschnittswert von 0,7. Dies ist bei der Laufbandbelastung nicht der Fall. Dies ist damit zu erklären, daß auf dem Laufband größere Anteile der Muskulatur bewegt werden müssen, deshalb häufen sich im Blut nicht flüchtige Säuren, vor allem Milchsäure an. Um den pH-Wert zu halten, muß deshalb mehr CO_2 abgeraucht werden. Die Kurve steigt auf dem Fahrradergometer steiler an als auf dem Laufband. Dies deutet daraufhin, daß die jugendlichen Handballer sich auf die anfänglich größere Belastung gut eingestellt haben, sie in der Lage sind, die sauren Stoffwechselprodukte im Blut zu beseitigen. Die weitere Steigerung der Laufbandbelastung scheint ihnen sogar besser zu liegen als die Belastungssteigerung auf dem Fahrrad.

Der kritische Wert des RQ's von 1,0, der anzeigt, daß die untersuchten Probanden vor dem Erschöpfungspunkt stehen, wird auf dem Fahrradergometer in der 6. Belastungsminute bei einer Belastung von 3 Watt/kg erreicht. Die jugendlichen Handballer sind aber in der Lage, noch 3 Minuten im Durchschnitt weiterzuarbeiten bis zu einem Durchschnitts-RQ von 1,18. Ein Proband erreichte sogar einen Wert von 1,28. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, daß die Probanden versuchten mit größter Willensanstrengung so lange weiterzuarbeiten, wie es möglich war.

Bei der Belastung auf dem Laufband wurde ebenfalls in der 6. Belastungsminute der kritische RQ-Wert von 1,0 überschritten, dies war bei einer Belastung von 2 Watt/kg. Fast alle jugendlichen Handballer waren fähig, auch bei der Laufbandbelastung 3 Minuten lang nach Überschreiten des kritischen Wertes von 1,0 weiterzuarbeiten. Der Maximalwert während der Belastung, der aber nur von 1 Probanden erreicht wurde, lag bei 1,34. Dies erlaubt Rückschlüsse auf eine sehr gute Leistungsfähigkeit, einen sehr guten Trainingszustand dieses jugendlichen Handballers. Nach Rückfrage erzählte uns dieser Handballer, daß er nicht nur auf das Handballspiel fixiert sei, sondern zusätzlich an den freien Trainingsabenden Schwimmtraining betreibe.

Die durchschnittlich höchsten Werte auf dem Fahrrad und auf dem Laufband wurden in der 2. Erholungsminute erreicht mit 1,40 und 1,31. Der höchste individuelle Wert des RQ's wurde mit 1,69 von einem Handballer auf dem Laufband in der 5. Erholungsminute erreicht. Dieser Wert zeigt an, daß diese Versuchsperson sich bei der Laufbandarbeit total erschöpft hatte. In der weiteren Erholungsphase streben alle RQ-Durchschnittswerte ihren Ruheausgangswerten zu. In der 5. Minute registrieren wir auf dem Fahrrad einen Wert von 1,1 auf dem Laufband 1,25. Aufgrund dieser schlechteren Erholung auf dem Laufband muß man annehmen, daß die Laufbandarbeit für die Probanden anstrengender war. Weil die jugendlichen Handballer auf dem Laufband stärker ausbelastet waren,

dauern ihre Anpassungsprozesse an die normale Stoffwechsellage länger als auf dem Fahrradergometer.

Der Ventilations-RQ ermöglicht bei spiroergometrischen Untersuchungen eine gute Beurteilung über die Ausbelastbarkeit und das Leistungsvermögen der Sportler.

Durch den Verlauf des RQ's während der Arbeit kann man Aussagen darüber machen, ob die untersuchten Personen an ihre Leistungsgrenze herangegangen sind.

11. Die 5-minuten Sauerstoffschuld

Im Rahmen der anaeroben Kapazität bei Belastung nimmt die Sauerstoffschuld eine wichtige Stellung ein. Die Differenz zwischen Sauerstoffbedarf und Sauerstoffaufnahme während erschöpfender Muskelarbeit, die in der anschließenden Erholungsperiode abgegolten werden muß, bezeichnete HILL (21) als Sauerstoffschuld. Leistungen mit wachsender Sauerstoffschuld werden als "unsteady-state-Leistung" bezeichnet. Sie werden bei kurzen, großen Leistungen, wie z.B. bei Kurzstrecken- und Mittelstreckenläufen in der Leichtathletik, aber auch bei Dauerhöchstleistungen mit wachsender O_2 -Schuld, wie z.B. beim 10 000 m-Lauf erzielt. Mit dem Eingehen einer Sauerstoffschuld läuft ein proportionaler Anstieg der Milchsäure im Muskel einher, dabei können Sauerstoffschuld und der Milchsäurespiegel des Blutes bis zu einem Grenzwert ansteigen, der den Abbruch oder zumindest einen Abfall der Leistung erzwingt.

Im Gegensatz zur Bestimmung des Milchsäurespiegels im Blut ist die Bestimmung der Sauerstoffschuld eine unblutige Methode. Deshalb hat sie bei Belastungsuntersuchungen den großen Vorteil, daß die Versuche nicht unterbrochen werden müssen, um dem Probanden Blut abzunehmen. Auf der anderen Seite ist die Bestimmung der maximalen Sauerstoffschuld leider eine sehr zeitraubende Methode und stellt für die untersuchten Athleten eine erhebliche Belastung dar, da sie etwa 45 - 60 min an die Apparaturen angeschlossen bleiben müssen, bis die Erholungssauerstoffaufnahme den Ausgangswert erreicht. NOWACKI (73) beschränkte sich deshalb bei den Eliteruderern auf die 10-Minuten-Sauerstoffschuld. Er setzte die 10-Minuten-Sauerstoffschuld in eine prozentuale Beziehung zur Gesamtsauerstoffschuld, dabei ließen sich individuell unterschiedliche Prozentzahlen zwischen 70 - 78 % errechnen. Bei Untersuchungen an 10 trainierten und 32 untrainierten Männern, die mit erschöpfender ergometrischer Handkurbelarbeit im Stehen belastet wurden, stellte FANDREY (12) bei der Berechnung des Anteils der 5-Minuten-Sauerstoffschuld an der 10-Minuten-Sauerstoffschuld gemessen an der Gesamtsauerstoffschuld fest:

In den ersten 5 min der Erholungsphase wurden bei den Trainierten durchschnittlich 55,7 %, bei den Untrainierten 56,8 % der maximalen Sauerstoffschuld abgegolten, in den ersten 10 min betrugen diese Werte 71,3 % bei den Trainierten und 74,0 % bei den Untrainierten. Man kann also für praktische Zwecke mit ausreichender Genauigkeit davon ausgehen, daß in den ersten 5 Minuten etwa 55 - 57 %, in den ersten 10 Minuten 70 - 75 % der Gesamtsauerstoffschuld abgetragen wurden. Bei unseren eigenen Belastungsuntersuchungen beschränkten wir uns auf die 5-Minuten-Sauerstoffschuld.

Über die Größe der Sauerstoffschuld werden in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben veröffentlicht. NÖCKER gibt Werte zwischen 18 und 20 l an, HOLLMANN 16,7 l und HANSEN 10,7 l.

HELBING und NOWACKI (18) fanden bei trainierten Männern (Leistungssportlern) eine mittlere maximale Sauerstoffschuld von 8,4 l. Von diesen Autoren kam der Vorschlag auf dem 16. Weltkongreß für Sportmedizin in Hannover 1966, die Zahlenwerte für die O_2 -Schuld auf STPD-Bedingungen umzurechnen und als "Ruhesauerstoffaufnahme" die in der Erwartungsphase gemessenen Werte zugrunde zu legen bei der Einhaltung der von MELLEROWICZ und Mitarbeitern (55) geforderten Leistungsumsatzbedingungen.

Diesen Vorschlägen haben wir bei unseren Berechnungen entsprochen. Auf dem Fahrradergometer erreichten unsere jugendlichen Handballer eine durchschnittliche O_2 -Schuld von 9,67 l STPD. NOWACKI (74) führte ähnliche Untersuchungen bei Handballern und Hochleistungssportlern anderer Sportarten auf dem Fahrradergometer durch.

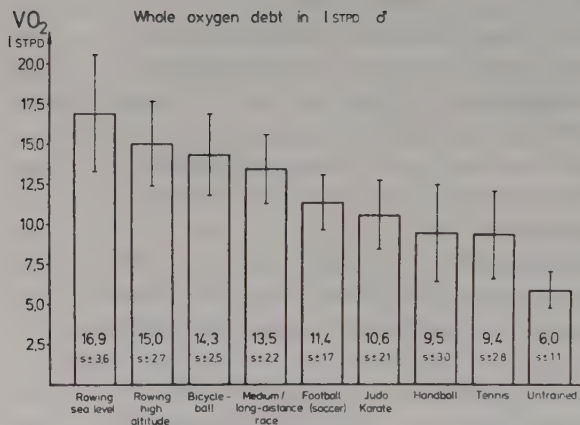


Abb. 17: Die maximale Sauerstoffschuld bei Hochleistungs-sportlern verschiedener Sportarten bei maximaler Ausbelastung auf dem Fahrradergometer (nach NOWACKI).

Der dort ermittelte Wert für Handballer von 9,5 l STPD paßt gut zu unserem Wert.

Dagegen konnten die jugendlichen Handballer auf dem Laufband mit 11,0 l STPD eine deutlich höhere durchschnittliche Sauerstoffschuld eingehen.

Wichtiger als die quantitativen Angaben über die absolute Größe der maximalen O_2 -Schuld erscheint uns die gefundene Relation zwischen dem Fahrradergometer und dem Laufband. Danach können die jugendlichen Handballer auf dem Laufband eine fast um 1,5 l größere maximale Sauerstoffschuld eingehen. Die wesentliche Ursache liegt sicherlich darin, daß die sportartspezifische Bewegungskoordination beim Handballspiel der Belastung auf dem Laufband nähersteht. Über die Qualität der Koordination beim Wurf, Sprung, rhythmischen Bewegungen und besonders beim Laufen entscheidet der Übungszustand der agonistisch-antagonistisch tätigen Muskel für den jeweiligen Bewegungsablauf.

Die aerobe Kapazität kann auf dem Laufband besser ausgenutzt werden, da beim Laufen stärker die fürs Handballspiel sportartspezifische Muskulatur zum Einsatz kommt und die Muskulatur des Trainierten einen viel höheren Säuregrad ertragen kann. Diese für die oft geübten Bewegungsabläufe trainierte Muskulatur kann auch eine größere Menge saurer Stoffwechselprodukte puffern.

Allgemein kann man aus diesen Ergebnissen schließen, daß die Sauerstoffschuld, die eine Testperson eingehen kann, keine feststehende Größe ist, sondern u.a. auch abhängt von der Art der Belastung auf dem Fahrrad oder Laufband, von der Form der Belastungssteigerung und natürlich vom Trainingszustand. Ein verbesserter Trainingszustand äußert sich nach HOLLMANN (27) in einer verringerten Erholungssauerstoffaufnahme bei gleicher physikalischer Leistung.

Nach NOWACKI (74) bedingt ein verbesserter Trainingszustand eine höhere aerobe und anaerobe Kapazität, damit ist eine stärkere Ausbelastung mit dem Eingehen einer größeren O_2 -Schuld möglich.

Die für die Muskelkontraktionen entscheidenden organischen Substanzen sind das ATP und das Kreatinphosphat, wobei das ATP sowohl in der anaeroben als auch in der aeroben Arbeitsphase die zentrale Stellung einnimmt. Ein optimaler biologischer Wirkungsgrad der Muskulatur wird nur bei einem guten Trainingszustand erreicht, dabei ist die Muskelleistung in erster Linie abhängig von einer guten Kapillarisation, rationeller O_2 -Utilisation und von einem schnellen Abtransport der Milchsäure.

Für den Handballer sind Spurts über kurze Strecken, Abbremsen aus vollem Lauf, fintenreiche Bewegungen, die sich während des Spiels ungezählte Male wiederholen, besonders wichtig. Diese Bewegungsabläufe trainieren natürlich die Muskelgruppen der Beine, des Rumpfes und der Arme, also entsprechende Muskelanteile, die auch auf dem Laufband beansprucht werden.

Der Leistungstest auf dem Laufband bringt für die Handballer, verglichen mit den Ergebnissen auf dem Fahrradergometer, sicherlich genauere Werte.

B) Aussagemöglichkeiten biologischer Leistungsgrößen

Die systematische Entwicklung zur sportlichen Höchstleistung schon im Jugendalter hat in den letzten Jahren zu einer enormen Steigerung des körperlichen und biologischen Leistungsvermögens Jugendlicher in einigen Sportarten geführt. Der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit kommt daher in der Sportmedizin eine zentrale Bedeutung zu. Der Begriff der Leistungsfähigkeit ist ein komplexer Begriff, der die Funktion der aeroben und anaeroben Energiefreisetzung pro Zeiteinheit, der neuromuskulären Funktion und die Motivation einschließt. Leistungsfähigkeit beinhaltet die psychische und physische Leistungskapazität für eine spezifische Aufgabe (HOLLMANN und LIESEN 30). Gemäß dieser Definition kann die Beurteilung, d.h. Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit, nur gezielt in Bezug auf eine bestimmte motorische Beanspruchungsform erfolgen. So ist die körperliche Leistungsfähigkeit eines Gewichthebers anders geschaffener als die eines Ruderers oder eines Handballers.

Die körperliche Maximalleistung wird bei stärkstem Willenseinsatz erreicht. Die "Wettkampfsituation", besonders in Anwesenheit von Zuschauern, ist am meisten geeignet, möglichst nahe an die persönlichen Leistungsgrenzen heranzukommen. Die Fähigkeit zur Ausschöpfung wird wesentlich von dem persönlichen, trainierbaren Widerstandsvermögen gegen die durch zunehmende metabolische Ermüdungsveränderungen bedingten physischen und psychischen Beschwerden bestimmt. Unter der Voraussetzung des anzunehmenden höchsten Willenseinsatzes, besonders in der tatsächlichen oder vorgestellten Wettkampfsituation, ist die unter diesen Bedingungen erzielte subjektive Maximalleistung bestimmter Dauer für die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit verwertbar. Quantitative Bezugssysteme zwischen Sauerstoffaufnahme und sportlicher Leistung sind die wesentlichste Grundlage für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen.

FARVEL (13) hat den unmittelbaren Zusammenhang zwischen Laufgeschwindigkeit beim Eisschnellaufen und Sauerstoffaufnahme (nach der Methode von Douglas-Haldane) nach den Untersuchungsergebnissen von 3 Autoren berechnet.

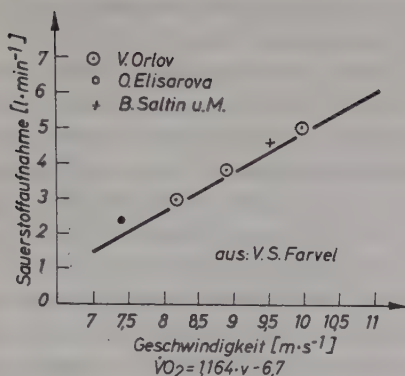


Abb. 18: Zusammenhang zwischen der Laufgeschwindigkeit beim Eisschnellaufen und der Sauerstoffaufnahme (FARVEL)

Die Wettkampfleistung im Ruderboot ist durch die konditionellen Faktoren Kraft-Ausdauer determiniert. Kraft-Ausdauer und wichtige ergänzende Stoffwechselgrößen lassen sich leicht im Labor prüfen, so daß sich die ermittelten Leistungsdaten bei einer Ausbelastung bis zum Erschöpfungspunkt mit der nötigen Zurückhaltung für eine Wettkampfprognose verwenden lassen. Als Beispiel führt NOWACKI (72) den Vergleich der biologischen Daten der Achter aus Essen und Ratzeburg vor den Qualifikationsrennen zu den Olympischen Spielen 1972 an. Er untersuchte beide Achter vor den Ausscheidungsrennen auf dem Fahrradergometer. Dabei ermittelte er bei dem von K. Adam trainierten Ratzeburgachter eine größere durchschnittliche biologische Leistungsbreite. Daraufhin sagte er einen Sieg dieses Achters voraus, der auch tatsächlich eintraf. Die entscheidenden Größen waren die höhere mittlere Wattleistung, die größere maximale Sauerstoffaufnahme, der größere Sauerstoffpuls und die für die Rennleistung so wichtige höhere relative Sauerstoffaufnahme. Diese höheren Werte wurden durch ein um 70 ml größeres Leistungsherz gewährleistet. Auch die kardiozirkulatorische Leistungsfähigkeit, vor allem ausgedrückt durch die bessere Erholungszeit, sprach für den Ratzeburgachter.

Dieses Beispiel macht sehr deutlich, welche Bedeutung die Vita-Maxima-Belastung auf dem Fahrradergometer hinsichtlich der Prognose für die Wettkampfleistung hat. Dieses von NOWACKI ausgeführte Experiment ließe sich leicht für technisch gleichwertige Juniorenmannschaften mit dem gleichen Ergebnis reproduzieren. Deshalb kann man ohne Übertreibung davon sprechen, daß die Fahrradspiroergometrie für Wettkampfruderer eine "sportartspezifische" Testmethode ist. Sie erlaubt bei Voraussetzung der Beherrschung der Rudertechnik relativ genaue Vorhersagen mit der nötigen Zurückhaltung über die Wettkampfleistung. In der Leistung auf dem Fahrradergometer gehen sowohl sportartspezifische Eigenschaften wie Kraft und Ausdauer, wie auch psychische Eigenschaften, vor allem Leistungswille, mit ein.

Im Gegensatz dazu kann ein Handballspieler eine mangelnde Kondition durch eine gute Technik, Spielverständnis und Schnellkraft beim Wurf überdecken. Deshalb ist es schwieriger, durch Leistungsuntersuchungen im Labor eine Aussage über die Spielstärke von Handballspielern zu geben. Hierzu möchte ich als Beispiel den A-Jugendlichen H.Bi. (18 J., 78 kg, 186 cm) aufführen, dem wir die beste kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit und auch die beste Wattleistung bescheinigten, der aber in der Jugendmannschaft nur ein Durchschnittsspieler mit niedrigerem technischen Niveau war und voraussichtlich nicht als Stammspieler in die erste Mannschaft des Bundesligisten TV-Hüttenberg nachrücken wird. Dieser Jugendspieler besitzt zwar von den untersuchten Handballern die größte Kraft und Ausdauer, aber er ist nicht in der Lage, diese Fähigkeiten im Handballspiel richtig einzusetzen. Er kann zum Beispiel in spielentscheidenden Situationen nicht erkennen, ob er schießen muß oder besser den Ball abgeben sollte.

Auf der anderen Seite gibt es Beispiele für technisch und spielerisch hervorragende Handballer, die jedoch ihre Fähigkeit infolge mangelnder Kondition nicht über die ganze Spielzeit einsetzen können. Oft werden von diesen Spielern sogenannte "Kunstpausen" durch Vernachlässigung der Deckungsarbeit eingelegt, was zu Gegentoren führt.

Die Grundfaktoren des Leistungsverhaltens, die wir kurz vorher angegeben haben, werden innerhalb einzelner Sportarten in unterschiedlicher Kombination beansprucht. Sicherlich kann heute eine Bundesligamannschaft, will sie erfolgreich sein, nicht ohne Kraft und Kondition auskommen, um eine fast neunmonatelange Spielsaison durchzustehen, doch bei Ballspielen müssen bei der Beurteilung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit eines Spielers noch andere Faktoren hinzukommen, wie zum Beispiel "Spielschläue", das Erkennen der Spielsituationen, das Befolgen des taktischen Spielkonzepts. Deshalb ist es schwerer, bei den Handballern ähnlich genaue Voraussagen aufgrund von spiroergometrischen Untersuchungen zu geben, wie es NOWACKI mit Erfolg bei Ruderern möglich war. Jedoch wird es nur auf der Grundlage solcher leistungsphysiologischen Untersuchungen über mehrere Jahre und deren Korrelation mit der Wettkampf- und Trainingsleistung eines Spielers möglich sein, ein körperlich-biologisches Leistungsprofil der erfolgreichen Handballspieler unter Berücksichtigung seiner technisch-motorischen Fähigkeiten und seiner Motivation zu entwickeln.

C) Diskussion des Vergleichs der Summe der Gesamtarbeit in Wattminuten unter Berücksichtigung der einzelnen Belastungsstufen und der Belastungszeit, der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme, des Sauerstoffpulses und des AMV jugendlicher Handballer und Ruderer bei erschöpfender Ausbelastung auf dem Fahrrad- und Laufbandergometer.

Die miteinander verglichenen Probandengruppen jugendlicher Handballer ($n = 16$) und Ruderer ($n = 18$) unterscheiden sich hinsichtlich Alter, Körpergewicht und Anzahl der Trainingsjahre nicht signifikant. In beiden Gruppen wurden von jedem Probanden die Ausbelastungskriterien erreicht. Außerdem waren die Abstände zwischen beiden Untersuchungsterminen für beide Gruppen ähnlich. Die ICSPE-Richtlinien zur Untersuchung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit wurden bei beiden Gruppen weitgehend beachtet.

Auf dem Fahrradergometer erwiesen sich die Ruderer den Handballern im Maximalbereich eindeutig überlegen. Die durchschnittlichen Verlaufskurven der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffpuls auf der folgenden Seite zeigen diesen Befund. Im submaximalen Leistungsbereich bestehen zwischen den Ruderern und den Handballern keine wesentlichen Unterschiede. Die Ruderer nehmen zwar schon etwas mehr Sauerstoff auf, aber die mit der absoluten Sauerstoffaufnahme zusammenhängenden Größen der relativen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffpulses liegen fast zusammen. Die signifikant höhere Summe der Gesamtarbeit der Ruderer gegenüber den Ballsportlern unterstreicht die dem Fahrradergometer besser angepaßte Kraftausdauer der Ruderer. Sie sind in der Lage, auf dem Fahrradergometer zwei Minuten im Durchschnitt länger zu arbeiten als die Handballer, bevor sie die Ausbelastungskriterien erreichen.

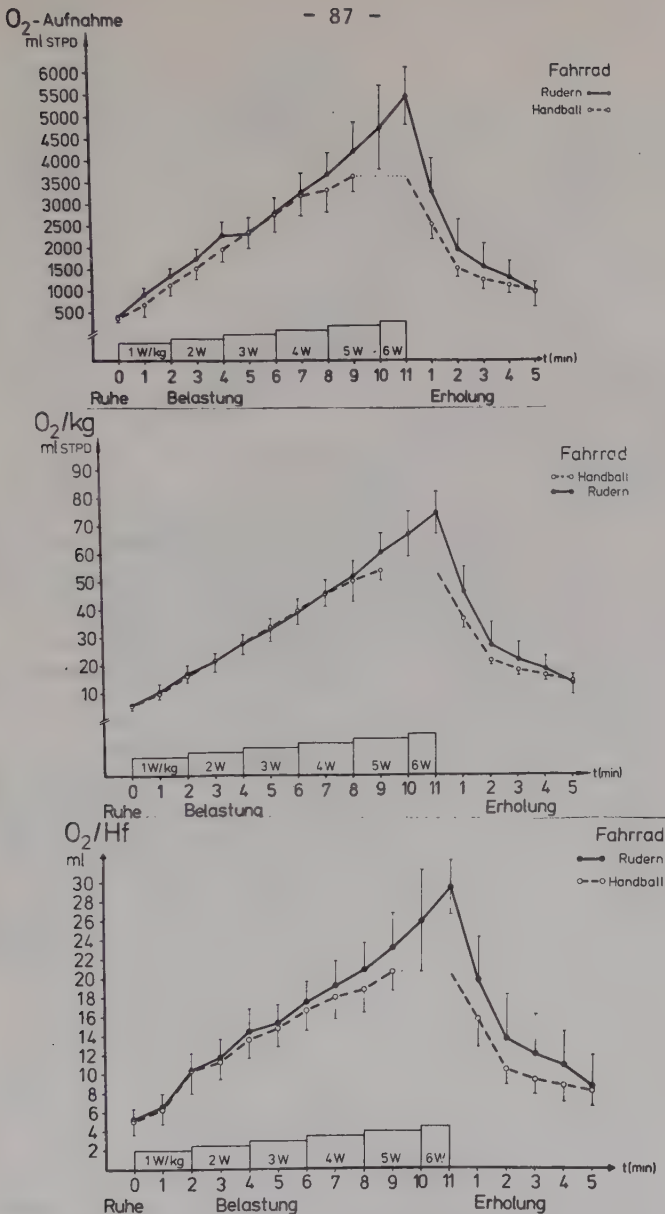


Abb. 19: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme (STPD) und des Sauerstoffpuls von jugendlichen Handballspielern ($n = 16$) und Wettkampfruderern ($n = 18$) vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Fahrradergometer (sitzend).

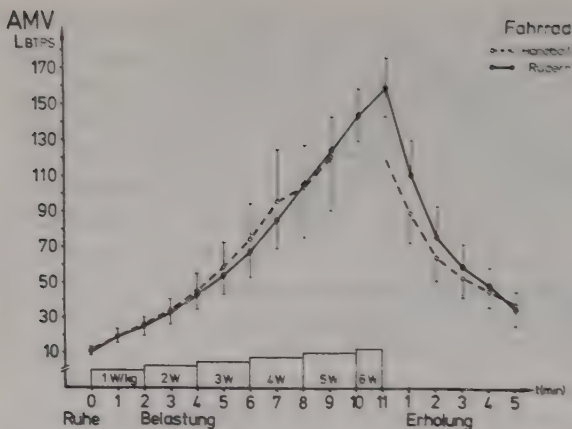


Abb. 20: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung des Atemminutenvolumens von jugendlichen Handballspielern ($n = 16$) und Wettkampfruderern ($n = 18$) vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Fahrradergometer (sitzend).

Auch die spezielle pulmonale Leistungsfähigkeit ist bei den Ruderern auf dem Fahrrad deutlich besser. Die Verlaufskurven des Atemminutenvolumens differieren zwar im submaximalen Arbeitsbereich nur unwesentlich, wegen der längeren Belastungszeit ist aber bei den Ruderern ein signifikant höheres Atemminutenvolumen möglich.

Diese von uns gefundenen Ergebnisse bestätigen die Untersuchungen von NOWACKI (63), DITTER und NOWACKI (9), KÜCHLIN (46), MÄURER (47), ROSENTHAL (79), SPENGLER und MEINECKE (85), die auf dem Fahrradergometer mittels körpergewichtsbezogener Belastung gewonnen wurden. Auf dem Laufband verschiebt sich das Leistungsbild zugunsten der jugendlichen Handballer. Zwar liegt die Summe der Gesamtarbeit der Ruderer mit 1513 Wattminuten deutlich über den 1119 Wattminuten der Handballer, die Belastungszeit beträgt bei den Ruderern 10,3 min und bei den Handballern 8,9 min, aber bei den anderen gemessenen Werten ergeben sich kaum Differenzen. Die absolute O_2 -Aufnahme unterscheidet sich von derjenigen der jugendlichen Wettkampfruderer weder im submaximalen Bereich noch im Vita-Maxima-Bereich.

Ähnlich verhalten sich die Verlaufskurven der relativen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffpuls.

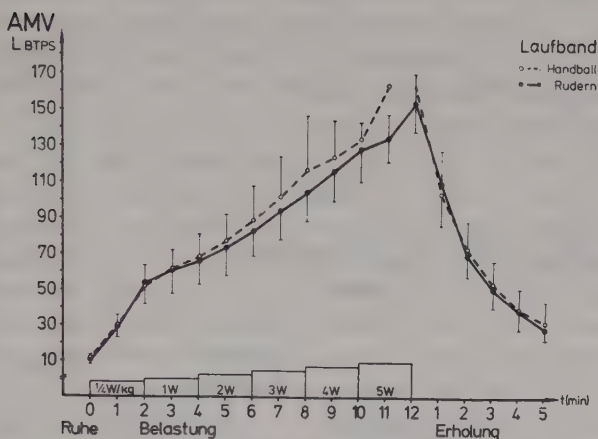


Abb. 21: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung des Atemminutenvolumens (BTPS) von jugendlichen Handballspielern ($n = 16$) und Wettkampfruderern ($n = 15$) vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband.

Die Leistungsdaten, wie absolute und relative O_2 -Aufnahme, Atemminutenvolumen und der Sauerstoffpuls, die die Handballer auf dem Laufband erreichen, bleiben deutlich über den Werten auf dem Fahrradergometer, während die Ruderer bei diesen Werten gering unter den Meßwerten des Fahrradergometertests liegen.

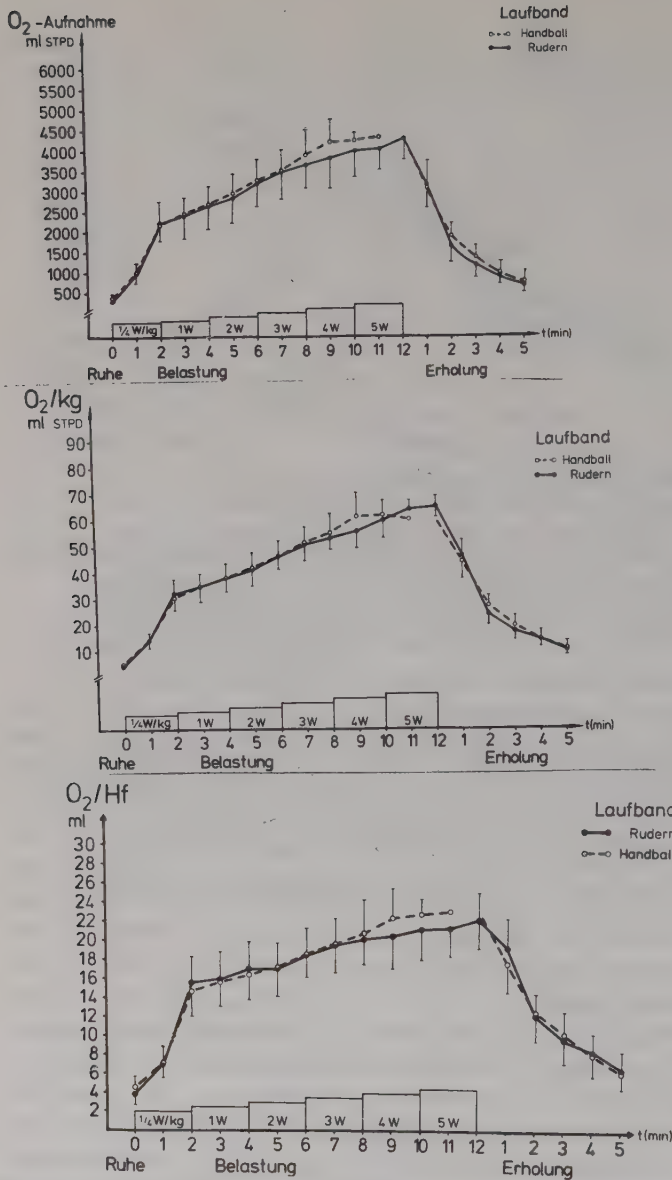


Abb. 22: Durchschnittliche Verlaufskurven mit Standardabweichung der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme (STPD) und des Sauerstoffpuls von jugendlichen Handballspielern ($n = 16$) und Wettkampfruderern ($n = 15$) vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) erschöpfender Belastung auf dem Laufband.

Die von uns erhobenen biologischen Leistungsdaten beweisen, daß die ergometrische Belastung auf dem Fahrrad im Sitzen weitgehend als "Methode der Wahl" für Ruderer angesehen werden kann (ROSENTHAL 79). Sicherlich würde das bisher noch nicht fertig entwickelte Ruderergometer für diese Sportart noch besser verwertbare Leistungsdaten bringen.

Ein Weg zur sportartspezifischen Leistungsdiagnostik für Handballer ist aber auf jeden Fall das Laufband. Die Ergebnisse der Laufbanduntersuchungen zeigen deutlich, daß die Handballer von ihrer biomechanischen Bewegungskoordination der Laufbandbelastung besser angepaßt sind als die Ruderer. Auf dem Laufband erreichen die jugendlichen Handballer eine hohe, nach der Belastung auf dem Fahrradergometer von uns nicht für möglich gehaltene Sauerstoffaufnahme. Dies ist sicher nicht damit zu erklären, daß die Untersuchungen auf dem Fahrrad von uns bei allen Probanden vorgezogen wurden und die Laufbandbelastung zum Teil erst zwei Monate später stattfanden. Die Leistungsdaten auf dem Fahrradergometer zeigen bei allen für die Bestimmung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit wichtigen Daten nicht das wirkliche Leistungsbild der Handballer an.

Wir können mit den von uns ermittelten Daten das erhebliche Leistungsgefälle zwischen jugendlichen Ruderern und Handballern teilweise widerlegen, das von vielen Autoren aufgrund von Belastungsuntersuchungen auf dem Fahrradergometer angegeben wird, ohne die sportartspezifischen Gesichtspunkte bei Ergometeruntersuchungen zu berücksichtigen. Nach unseren Ergebnissen bei körpertgewichtsbezogener Laufbandbelastung ist dieser Unterschied erheblich kleiner, wie er beschrieben wird. Einige Monate nach dem Belastungstest bestätigten die Jugendspieler des TV-Hüttenberg ihr überraschend gutes Abschneiden auf dem Laufband mit dem Erreichen des Deutschen Jugendendspiels sowohl bei der A-Jugend als auch bei der B-Jugend. Diese Tatsache beweist, daß ausgezeichnete Laufbandergometerergebnisse und sportartspezifische Leistung im Handball positiv miteinander korrelieren.

Sicherlich wird auch noch heute aus vordergründigen Gesichtspunkten bei jugendlichen Handballern und auch bei ihren Trainern die für den Erfolg auch im Ballsport notwendige Bedeutung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit unterschätzt. Auch ein technisch hervorragender Handballer kann nicht ohne diese Eigenschaften auskommen. Er muß während des Spiels Tempogegenstöße laufen, muß sich in geeignete Wurfpositionen bringen, muß bei Anspielmöglichkeiten am Kreise die nötige Übersicht bewahren, muß auch damit rechnen, daß ihn sein Gegenspieler mit allen Mitteln, die die Schiedsrichter erlauben, versucht, am Torwurf zu hindern. Zusätzlich sollte er auch selbst die eigene Abwehrarbeit nicht vernachlässigen, die sicherlich genauso wichtig ist wie das Angriffspiel. Die Trainingsschwerpunkte im Handballsport werden vielerorts noch falsch eingesetzt, indem das Konditionstraining von den Spielern und vom Trainer vernachlässigt wird. Für jugendliche Handballspieler beginnt das Handballspiel erst, wenn sie den Ball in der Hand haben. Dieser Einstellung sollten die Trainer nicht entgegenkommen, sondern sollten aufzeigen, wie wichtig ein regelmäßiges, mit voller Belastung durchgeführtes Ausdauertraining ist. Regelmäßige Laufbandtests können Schwächen in dieser Hinsicht bei Ballsportlern aufdecken und zur besseren Trainingsgestaltung hilfreich sein.

V. Zusammenfassung

Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurden an 16 jugendlichen Handballspielern nach der körpertgewichtsbezogenen Watt/kg-Methode auf dem Laufband- und dem Fahrradergometer durchgeführt. Die gemessenen Leistungsdaten wurden verglichen mit den Ergebnissen jugendlicher Wettkampfruderer, die von ROSENTHAL (79) im gleichen Zeitraum nach der gleichen Methodik untersucht wurden. Es wurde Laufband- und Fahrradergometerarbeit im Sitzen in steigenden Wattstufen durch Steigerung der Wattzahl alle zwei Minuten um 1 Watt pro Kilogramm Körpergewicht bis zur Erschöpfung geleistet. Bei allen Probanden wurden zuerst die Untersuchungen auf dem Fahrradergometer vorgenommen, da die Methode einfacher ist und die Leistungsgrenze der untersuchten jugendlichen Sportler schon vor der Belastung auf dem schwierigeren Untersuchungsgerät, dem Laufband, ungefähr aufgezeigt werden konnte.

1. Alle körperlichen und biologischen Funktionsgrößen sind abhängig von der körperlichen und sportlichen Leistungsfähigkeit, von der ausgeübten Sportart, von der Trainingsqualität und -quantität und von der Anzahl der Trainings- und Wettkampfjahre.
2. Die jugendlichen Handballer zeigen auf dem Laufbandergometer schon im submaximalen Leistungsbereich deutlich höhere Meßwerte der kardiopulmonalen und respiratorischen Leistungsfähigkeit als auf dem Fahrradergometer.
3. Im Maximalbereich erzielen sie deutlich bessere Leistungsdaten der absoluten Sauerstoffaufnahme, der relativen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffpulses auf dem Laufband gegenüber dem Fahrradergometertest.
4. Die Summe der Gesamtarbeit, ausgedrückt in Wattminuten, der Handballspieler beträgt bei der Laufbandbelastung 1119 Wattminuten, bei der Fahrradergometerbelastung 1379 Wattminuten. Das schlechtere Ergebnis auf dem Laufband ist bedingt durch den schlechteren Wirkungsgrad von 10,1 % gegenüber 17,2 % auf dem Fahrradergometer.

5. Die mittlere Belastungszeit auf dem Fahrradergometer dauert 475 Sekunden, auf dem Laufband 534 Sekunden. Damit weisen die jugendlichen Ballspieler ein gut trainiertes körperliches Leistungsvermögen auf (NOWACKI 73). Alle Versuchspersonen arbeiteten über 6 min, 4 Versuchspersonen auf dem Laufband über 10 min.
6. Die maximalen durchschnittlichen Herzschlagfrequenzen lagen auf dem Fahrrad zwischen 164/min und 195/min mit einem maximalen Durchschnittswert von 184/min, auf dem Laufband zwischen 176/min und 202/min mit einem maximalen Durchschnittswert von 191/min. Nach fünf Minuten Erholungszeit war der Durchschnittswert auf dem Fahrrad auf 121/min, auf dem Laufband auf 113/min abgesunken. Nach den Beurteilungskriterien der kardiozirkulatorischen Erholungszeit nach maximaler Belastung, die NOWACKI (63) für Ruderer angibt, die aber sicherlich auch für Handballer gelten kann, ist dies auf dem Laufband eine gute Erholungsfähigkeit, auf dem Fahrrad aber nur eine ausreichende Erholungsfähigkeit.
7. Der Ruheblutdruck vor der Fahrradergometerbelastung betrug 130/90 mm Hg, vor der Laufbandbelastung 130/70 mm Hg. Im submaximalen Belastungsbereich, lediglich auf dem Fahrrad wurde der Blutdruck gemessen, wurde ein Mittelwert von 170/80 mm Hg bei einer Belastung von 2 Watt/kg gemessen. Nach der ergometrischen Belastung wurde auf dem Laufband in der ersten Erholungsminute ein Blutdruck von 180/55 mm Hg, auf dem Fahrrad von 180/70 mm Hg erreicht. Nach der fünften Erholungsminute liegt der Wert auf beiden Testgeräten etwa bei 140/65 mm Hg. Die kardiozirkulatorische Erholungsfähigkeit kann als befriedigend bis gut bezeichnet werden.
Ein zu starkes Intervalltraining führt bei Jugendlichen zu erhöhten Blutdruckwerten.
8. Das maximale durchschnittliche Atemminutenvolumen zeigt mit 136,2 l BTPS auf dem Laufband und 115,9 l BTPS auf dem Fahrradergometer eine deutliche Differenz.

9. Das charakteristische Zusammenspiel der Atemfrequenz und des Atemminutenvolumens ist entscheidend beim Erreichen eines maximalen Atemminutenvolumens. Deshalb ist die erhöhte Atemfrequenz von 51/min und das größere Atemzugvolumen von 2674 ml bei der Laufbandbelastung gegenüber der Frequenz von 47/min und den Atemzugvolumen 2427 ml nicht überraschend nach dem AMV auf dem Laufband.
10. Die durchschnittliche maximale absolute Sauerstoffaufnahme STPD von 4254 ml O_2 auf dem Laufband unterscheidet sich signifikant von derjenigen auf dem Fahrradergometer, dort wurden nur 3562 ml aufgenommen.
11. Die durchschnittliche maximale relative Sauerstoffaufnahme von 61,0 ml pro kg auf dem Laufband liegt deutlich über dem Ergebnis von 50,9 ml/kg auf dem Fahrradergometer.
12. Der mittlere Maximalwert des Sauerstoffpulses beträgt auf dem Laufband 22,4 ml O_2 pro Herzaktion, auf dem Fahrrad 19,4 ml O_2 pro Herzaktion. Die Verlaufskurve des Sauerstoffpulses zeigt auf den höchsten Belastungsstufen auf dem Laufband gegenüber dem Fahrradergometer keinen linearen Anstieg, sondern geht in ein Plateau über. Das Erreichen des Plateaus ist eines der Kriterien, welches bei einem maximalen Sauerstoffpuls vorliegen soll.
13. Die Atemökonomie, ausgedrückt durch das Atemäquivalent, ist im submaximalen Belastungsbereich auf dem Fahrradergometer besser, während sie im Maximalbereich fast gleich ist.
14. Der Ventilations-RQ liegt im submaximalen Leistungsbereich auf dem Fahrradergometer niedriger, im Maximalbereich wurden aber die gleichen Werte erreicht.
15. Die jugendlichen Handballer können auf dem Laufband mit 11,1 l O_2 STPD eine höhere Sauerstoffschuld als auf dem Fahrradergometer mit 9,67 l O_2 STPD eingehen.
16. Die jugendlichen Handballer sind den jugendlichen Wettkampfruderern hinsichtlich der körperlichen (Wattleistung), der kardiopulmonalen (absolute Sauerstoffaufnahme, relative Sauerstoffaufnahme, Sauerstoffpuls) und der respiratorischen (Atemminutenvolumen, Atemzugvolumen) Leistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer deutlich unterlegen.

17. Auf dem Laufband liegt die körperliche Leistungsfähigkeit der Ruderer über derjenigen der Handballer.
Bei den Ruderern sind im Maximalbereich die Leistungsdaten der absoluten Sauerstoffaufnahme, der relativen Sauerstoffaufnahme, des Sauerstoffpulses und der Wattleistung auf dem Laufband etwas schwächer als auf dem Fahrradergometer.
18. Ansonsten können sich die Handballspieler auf dem Laufband bei allen gemessenen Leistungsdaten erheblich verbessern und kommen in ähnliche Bereiche wie die Ruderer auf diesem Untersuchungsgerät.
Auf dem Laufband erreichen die jugendlichen Handballspieler ähnliche Leistungsbereiche bei der absoluten O_2 -Aufnahme, der relativen O_2 -Aufnahme, beim O_2 -Puls und beim AMV wie die jugendlichen Wettkampfruderer.
19. Aus biomechanischen Gründen sind körperrgewichtbezogene Belastungen auf dem Laufband besser für die Handballer, auf dem Fahrradergometer besser für die Ruderer geeignet. Durch die ermittelten Daten auf dem Fahrradergometer kann bei den Ruderern eine gerechte Beurteilung hinsichtlich der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit erstellt werden. Bei den jugendlichen Handballspielern korrelieren die ermittelten Leistungsdaten auf dem Laufband besser mit den Ergebnissen, die sie im Wettkampf errungen haben. Die Laufbandergebnisse der Handballer dokumentieren, daß nur eine sportartspezifische Belastungsuntersuchung eine genaue Einschätzung der Leistungsfähigkeit und der sich daraus ergebenden Wettkampfprognose ermöglicht. Eine Beurteilung auf der Grundlage der Ergebnisse, die sie auf dem Fahrradergometer erreichen, wäre den im Wettkampf erbrachten Leistungen nicht gerecht geworden.

VI. Literaturverzeichnis

- 1) AGNEVIK, G., SALTIN, B.:
The relationship between oxygen uptake and heard rate during competitive sports in: Kongreßbericht 2. Internationales Seminar für Ergometrie, 277 - 280
Berlin (1967)
- 2) ANSCHÜTZ, F., DRUBE, H.CH.:
Über den Fehler der auskultatorischen Blutdruckmessung nach RIVA-ROCCI-KOROTKOFF bei Kreislaufumstellungen.
Verh. Dtsch. Ges. Kreisl. forschg. 2o. Tagg. 1954
- 3) ASTRAND, P.-O.:
Experimental Studies of Physical Working in Relation to Sex ans Age.
Kopenhagen, Munksgaard 1952
- 4) ASTRAND, P.-O., SALTIN, B.:
Maximal oxygen uptake and heard rate in various types of muscular activity.
J.Appl. Physiol. 16, 977-981 (1961)
- 5) ASTRAND, P.-O., RODAHL, K.:
Textbook of Work Physiology. Mc Graw-Hill Book Camp.
New York 197o
- 6) BACHL, N.:
Erfahrungen mit Laufbandergometertests im Hochleistungssport.
Tagungsbericht d.Ab. Gem. f. Klin. Atemphysiologie d. Österr. Ges. f. Lungenerkr. u. Tuberkulose, S. 83-89
Graz 1976
- 7) BASSAN, L.:
Über die Aussagekraft der Herzschlagfrequenz als physiologische Meßgröße in der Leistungsphysiologie.
Int. Arch. Gewerbepathologie und Gewebehygiene 22, 262-281 (1966)
- 8) BENGTSSON, E.:
The working capacity in normal school children evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults.
Acta med. Scand, 154, 91-1o9 (1956)
- 9) DITTER, H., NOWACKI, P.E.:
Körperliche und kardio-pulmonale Leistungsfähigkeit der Junioren-Ruder-Nationalmannschaft vor der Weltmeisterschaft 1975.
Sportarzt u. Sportmed. 27, 73-79 (1976)
- 1o) DRANSFELD, B., MELLEROWICZ, H.:
Untersuchungen der Leistungsfähigkeit und Herzschlagfrequenz von Untrainierten bei Maximalleistungen am Handkurbelergometer.
Intern. Zschr. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 17, 2o7-217 (1958)

- 11) DRANSFELD, B.:
Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffpuls bei ergometrischer Leistung.
In: Kongreßbericht des 1. Internationalen Seminars für Ergometrie.
Hrsg.: H.Mellerowicz und G.Hansen.
Berlin: Ergon-Verlag 1965, 123 ff.
- 12) FANDREY, K.D.:
Die Bedeutung der maximalen Sauerstoffschuld für die Einschätzung der anaeroben Kapazität in der Leistungsphysiologie unter besonderer Berücksichtigung der Fünf- und Zehnminutensauerstoffschuld an der Gesamtsauerstoffschuld.
Wiss. Prüfng. Arbeit f. d. Lehramt an Gymnasien.
JLU Giessen 1977
- 13) FARVEL, V.S.:
Probleme des Eisschnellaufsports.
Verlag Körperkultur und Sport,
Moskau 1970, 120 - 141
- 14) FREUDENBERG, K.:
Grundriß der medizinischen Statistik.
Stuttgart, Schattauer-Verlag 1962
- 15) CADERMANN, E., JUNG, K.:
Zur Objektivierung der Leistungsfähigkeit durch maximale Arbeit am Fahrradergometer im Liegen
In: Med. Welt 40, 2147-2154 (1968)
- 16) GALLE, L.:
Vergleichende Untersuchungen über das Verhalten von Atem- und Kreislauffunktionen bei verschiedenen Formen maximaler ergometrischer Arbeit.
Inaug. Diss., Freie Universität Berlin, 1961
- 17) HANSEN, G.:
Atemzeitvolumen und Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung.
In: Ergebnisse der Ergometrie: Beiträge zur Kardiologie.
Hrsg. H.Mellerowicz, E. Jokl, G. Hansen
Perimed, Erlangen 1975
- 18) HELBING, G., NOWACKI, P.E.:
Die maximale O₂-Schuld als Leistungskriterium.
Kongreßbericht des XVI. Weltkongreß für Sportmedizin, Hannover.
Deutscher Ärzte-Verlag Köln 1966 (253-256)
- 19) HENSSCE, C.:
Die Untersuchung der Sauerstoffaufnahme bei Fahrradergometer- und Laufbandbelastungen im maximalen und submaximalen Bereich. Wertigkeit und Bewertung im Sport Medizin und Sport 18, 225-235 (1976)
- 20) HETTINGER, TH.:
Kraft der Skelettmuskulatur und ihre Anpassungsfähigkeit an erhöhte Beanspruchung.
In: Theorie und Praxis der Körperkultur (1957)

- 21) HILL, A.V.:
Muscular Movement in Man.
New York: Mc Graw Hill 1927
- 22) HOLLMANN, W., VALENTIN, H., VENRATH, H.:
Über Atmung und Kreislauf jugendlicher Personen
während dosierter körperlicher Belastung.
Sportarzt und Sportmedizin 10, 77-80 (1959)
- 23) HOLLMANN, W.:
Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.
Steinkopff, Darmstadt 1955, 1. Aufl.
- 24) HOLLMANN, W., VENRATH, H., VALENTIN H., SPELLERBERG, B.:
Über den arteriellen Blutdruck beim Menschen während
dosierter körperlicher Belastung.
Z. Kreisl. Forsch. 48, 162-167 (1959)
- 25) HOLLMANN, W.:
Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers.
Spirometrische Untersuchungen und Beurteilung von
männlichen und weiblichen Personen des 1. bis 8.
Lebensjahrzehnts.
Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sport-
bundes, Bd. 5,
Barth-Verlag, München (1963)
- 26) HOLLMANN, W., VENRATH, H.:
Die Beeinflussung von Herzgröße, maximaler O₂-Aufnahme
und Ausdauergerenze durch ein Ausdauertraining mittlerer
und hoher Intensität.
Sportarzt und Sportmedizin 14, 189-193 (1963)
- 27) HOLLMANN, W.:
Zur Frage der Dauerleistungsfähigkeit.
Fortschr. Med. 17, 439-449 (1961)
- 28) HOLLMANN, W.:
Kriterien der körperlichen, cardialen und pulmonalen
Leistungsgrenzen.
In: Kongreßbericht des I. Internationalen Seminar für
Ergometrie.
Hrsg. H.Mellerowicz und G.Hansen, S. 186 ff.
Berlin: Ergon-Verlag (1965)
- 29) HOLLMANN, W., HECK, H., SCHMÜCKER, B., STOLTE, A.,
LIESEN, H., FOTESCU, M.D., MATHUS, D.N.,
unter Mitarbeit von JOURA, K.H.:
Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über
den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und
Fahrradergometerbelastungen.
Sportarzt und Sportmedizin 22, 123-134 (1971)

- 30) HOLLMANN, W., LIESEN, H.:
Beurteilung der Lauf-Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.
Leistungssport 3, 369-373 (1973)
- 31) IKAI, M.:
Growth - I D 17.
In: Encyclopedia of sport sciences and medicine
New York: Macmillan 1971
- 32) ISRAEL, S.:
Sport, Herzgröße und Herz-Kreislauf-Dynamik.
Sportmed. Schriftenreihe, Bd. 3, 1 - 115
Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1968)
- 33) ISRAEL, S.:
Zur Problematik der maximalen Herzschlagfrequenz
bei Sportlern.
Medizin und Sport 10, 193-200 (1970)
- 34) ISRAEL, S., BRENKE, H.:
Die Beziehung zwischen Körpergewicht und Sauerstoff-
aufnahmevermögen.
Medizin und Sport 5, 90-92 (1965)
- 35) ISRAEL, S., WEBER, J.:
Probleme der Langzeitdauer im Sport.
Sportmed. Schriftenreihe, Bd. 5, 1-171
Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1972)
- 36) JOHANNSSON, J.E.:
Scand. Arch. Physiol. 11, 273 (1911)
- 37) KEIDEL, W.D.:
Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie.
2. überarbeitete Auflage,
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1970)
- 38) KNIPPING, H.W.:
Beitrag zur Technik der Gasstoffwechseluntersuchung.
Zschr. f.d. ges. experim. Med. 47, 1-3 (1925)
- 39) KNIPPING, H.W.:
Die klinische Gasstoffwechseluntersuchung.
Tung-Chi, Med. Monatsschrift Shanghai 2, 55-60 (1926)
- 40) KNIPPING, H.W.:
Beitrag zur gasanalytischen Technik in der Medizin.
Zschr. f.d. ges. experim. Med. 57, 433-439 (1927)
- 41) KNIPPING, H.W.:
Ergebnisse der Stoffwechseluntersuchung für die Klinik.
Klin. Wochenschrift 7, 49-52 (1928)

- 42) KNIPPING, H.W.:
Die Untersuchung der Ökonomie von Muskelarbeit bei
Gesunden und Kranken.
Z. exper. Med. 66, 517-537 (1929)
- 43) KNIPPING, H.W.:
Ergebnisse der Ergographie in der Klinik.
Die Arbeitsinsuffizienz von Herz und Kreislauf.
Klin. Wschr. 17, 1457-1460 (1938)
- 44) KNIPPING, H.W.:
Beitrag zur klinischen Funktionsprüfung von Atmung
und Kreislauf.
Beitr. z. Klin. d. Tuberkulose 92, 144-169 (1938)
- 45) KRAUSE, R.:
Die maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der
kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit.
Inaug. Diss. Med. Hochschule Lübeck. (1971)
- 46) KÜCHLIN, J.:
Physiologische Untersuchungen beim Ratzeburger Kraft-
und Wintertraining der Ruderer.
Inaug. Diss. Med. Hochschule Lübeck (1975)
- 47) MÄURER, U.:
Die Bedeutung der modernen kardio-respiratorischen
Funktionsdiagnostik für jugendliche Leistungssportler.
Inaug. Diss. Justus-Liebig-Univ. Giessen (1977)
- 48) MAIDORN, K.:
Der arterielle Druck bei ergometrischer Leistung
In: MELLEROWICZ, H., HANSEN, G.
I. Internationales Seminar für Ergometrie
Berlin 1865, 114-122
- 49) MELLEROWICZ, H.:
Herz und Kreislauf beim Sport.
In: Lehrbuch der Sportmedizin von Arnold
(Leipzig 1956)
- 50) MELLEROWICZ, H.:
Vergleichende Untersuchung über das Ökonomieprinzip
in Arbeit und Leistung des trainierten Kreislaufs
und seine Bedeutung für die präventive und rehabili-
tative Medizin.
Arch. Kreislauf. 24, 70-176 (1956)
- 51) MELLEROWICZ, H., LERCHE, D.:
Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der
Leistungsfähigkeit Jugendlicher.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 17, (1959)

- 52) MELLEROWICZ, H., REINDELL, H., HOLLMANN, W.,
NIES, H., ROSKAMM, H.:
Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen
Leistung.
Z. Kreisl. Forschung 50, 273-281 (1961)
- 53) MELLEROWICZ, H., NOWACKI, P.:
Vergleichende Untersuchungen von Atem- und Kreislauf-
funktionen bei physikalisch gleicher ergometrischer
Arbeit im Stehen, Sitzen, Liegen.
Zschr. Kreislauff. 50, 1002-1014 (1961)
- 54) MEELEROWICZ, H.:
Trainingsmaß und Leistungszuwachs.
In: Kongreßbericht des XVI. Weltkongreß für
Sportmedizin.
Hrsg. G. Hanekopf, 456 Köln:
Deutscher Ärzte-Verlag (1967)
- 55) MELLEROWICZ, H.:
Ergometrie, 2. Aufl. Grundriß der medizinischen
Leistungsmessung für die Innere Medizin, Arbeits-
medizin, Sportmedizin und Versorgungsmedizin.
Urban & Schwarzenberg,
München-Berlin-Wien (1975)
- 56) MELLEROWICZ, H., PETERMANN, A.:
Arzt und Sport 4/3 9 ff. (1956)
- 57) MIYAMURA, M., HONDA, Y.:
Oxygen intake and cardiac output during maximal
treadmill and bicycle exercise.
J. Appl. Physiol. 32, 185-188 (1972)
- 58) MÜLLER, E.A.:
Physiologie der körperlichen Leistungsfähigkeit.
In: Landois-Rosemann: Lehrbuch der Physiologie
des Menschen, 28. Aufl., Bd. II, 488-546,
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin (1962)
- 59) NÖCKER, J.:
Physiologie der Leibesübungen.
Enke-Verlag Stuttgart 1964, 2. Aufl.
- 60) NOWACKI, P.E.:
Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer
Leistung.
In: Kongreßbericht des I. Internationalen Seminar
für Ergometrie.
Hrsg. H. Mellerowicz und G. Hansen
Berlin: Ergon-Verlag (1965) 92-97
- 61) NOWACKI, P.E.:
Der Wirkungsgrad bei ergometrischer Leistung.
In: Kongreßbericht des II. Internationalen Seminar
für Ergometrie.
Hrsg. H. Mellerowicz und G. Hansen
Berlin: Ergon-Verlag (1967) 241-247

- 62) NOWACKI, P.E.:
Anmerkung zum neuen System der sportmedizinischen Untersuchungen für den Spitzensport in der Bundesrepublik aus der Sicht des DRV.
Rudersport 88, 778-779 (1970)
- 63) NOWACKI, P.E., ADAM, K., KRAUSE, R., RITTER, U.:
Die Spiroergometrie im neuen Untersuchungssystem für den Spitzensport.
Rudersport 89, Trainer-Journal I-VI (1971)
Leistungssport 2, 37-51 (1971)
- 64) NOWACKI, P.E., ADAM, K., KRAUSE, R., RITTER, U.:
Über die Auswirkungen eines intensivierten Kraft-Ausdauertrainings auf die biologischen Leistungsdaten des jugendlichen Ruderers.
24. Tagung DSAB, Würzburg 14.-17.10.1971,
Hrsg. K. Stenke,
Karl Demeter Verlag Gräfling (79-84),
Nachdruck in: Rudersport 89 Trainer Journal Heft 33,
I-III (1971)
- 65) NOWACKI, P.E., KRAUSE, R., ADAM, K., RULFFS, M.:
Über die kardio-pulmonale Leistungsfähigkeit des Deutschland-Achters vor seinem Olympiasieg 1968.
Sportarzt und Sportmedizin 19, 227-229 (1971)
- 66) NOWACKI, P.E.:
Funktionsdiagnostik der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit.
Der Kassenarzt 13, 77-94 (1973)
- 67) NOWACKI, P.E.:
Die Objektivierung der körperlichen und kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit mit einfachen und komplizierten Methoden.
Sportphysiotherapie: in Physiotherapie 65, 663-666
1. Forts. 727-732, 2. Forts. 792-795 (1974)
- 68) NOWACKI, P.E.:
CO₂-Bildung und respiratorischer Quotient bei ergometrischer Leistung.
In: H. Mellerowicz: Ergometrie, 2. Aufl.
Kap. XII, 236-251
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien (1975)
- 69) NOWACKI, P.E.:
Das Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung.
In: H. Mellerowicz: Ergometrie, 2. Aufl.
Kap. XI, 222-235
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien (1975)

- 70) NOWACKI, P.E.:
Möglichkeiten der medizinischen Leistungsdiagnostik.
In: Information zum Training.
Leistungssport, Beiheft 3, 77-119 (1975)
- 71) NOWACKI, P.E.:
Kardio-pulmonale Leistungsprüfung.
In: Information zum Training.
Das sportmedizinische Untersuchungssystem.
Leistungssport, Beiheft 4, 65-85 (1975)
- 72) NOWACKI, P.E.:
Biologische Leistungsvoraussetzungen für Höchstleistungen im Rudersport bei jugendlichen und erwachsenen Ruderern.
Beiträge zur Sportmedizin Bd. 4, 17-55 (1975)
Perimed-Verlag Dr. D. Staube, Erlangen
- 73) NOWACKI, P.E.:
Sportmedizinische und Leistungsphysiologische Aspekte des Ruderns.
In: K. Adam, H. Lenk, P.E. Nowacki, M. Rulffs, W. Schröder: Rudertraining.
Limpert-Verlag, Bad Homburg v.d.H., 251-646 (1977)
- 74) NOWACKI, P.E., FANDREY, K.D.:
Maximal oxygen consumption and oxygen debt in well trained athletes.
In: International Federation of Sports Medicine; Brasilien Congress Executive Committee (Hrsgb.)
Kongreßband XXI World Congress on Sports Medicine Brasilia (Brasilien) 7.-12.9.1978, S. 209
- 75) REICH T.:
Idee und Praxis der medizinischen Statistik.
Bern: Huber 1964
- 76) REINDELL, H., KLEPZIG, H., MUSSHOF, K.:
Das Sportherz.
In: Handbuch der Inneren Medizin IX/1, 913-951 (1960)
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960
- 77) REINDELL, H., MUSSHOF, K., KLEPZIG, H.:
Physiologische und pathophysiologische Grundlagen der Größen- und Formänderungen des Herzens
In: Handbuch der Inneren Medizin IX/1, 801-912
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960
- 78) REINDELL, H.:
Der Einfluß des Trainings auf den Organismus.
Der Rudersport, Lehrbeilage 1/1962, I-V
- 79) ROSENTHAL, P.:
Vergleichende Herz-Kreislauf-Funktionsprüfungen bei jugendlichen Wettkampfruderern mittels körpergewichtsbezogener Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und Laufband.
Inaugural-Dissertation Gießen 1981.

- 80) ROSSIER, P.H., BÜHLMANN, A., WIESINGER, K.:
Physiologie und Pathophysiologie der Atmung
Springer Verlag, Berlin 1958 2. Aufl.
- 81) SALTIN, B., ASTRAND, P.:
Maximal oxygen uptake in athletes
In: Journal of Appl. Physiol. 23, 353-358 (1967)
- 82) SCHELLONG, F., LÜDERITZ, B.:
Regulationsprüfungen des Kreislaufs.
Darmstadt, Steinkopff, 1954
- 83) SILL, V., KIRCHHOFF, H.W.:
Die Laufbandbelastung als Funktionsprüfung von
Kreislauf und Atmung.
Wehrmed. 6, 90-94 (1968)
- 84) SJÖSTRAND, T.:
Elektrocardiographic work and hypoxemia tests.
Scandinav. J.Clin. u. Lab. invest. 3, 1-5 (1951)
- 85) SPENGLER, H., MEINEKE, K.H.:
Körperliche, kardio-zirkulatorische und kardio-
pulmonale Leistungsfähigkeit jugendlicher erfolg-
reicher Handballspieler.
Meineke, K.H.: unter besonderer Berücksichtigung
der Atmung, der anaeroben Kapazität und des Wir-
kungsgrades bei Ergometerarbeit.
Spengler, H.: Unter besonderer Berücksichtigung der
Sauerstoffaufnahme, des Sauerstoffpulses, der
Kohlendioxidausscheidung und des Ventilations-
Respiratorischen Quotienten bei Ergometerarbeit.
Wiss. Hausarbeit (Sportwiss.) für die 1. Staatsprüfung,
Examensarbeit f.d. Lehramt an Gymnasien JLU Giessen 1976
- 86) STAADEN, W., WETTIG, P., ZIMMER, K.R., NOWACKI, P.E.:
Neue Aspekte der Laufbandergometrie im Vergleich zur
Fahrradergometrie.
Persönliche Mitteilung.
Veröffentlichung in Vorbereitung.
- 87) WAHLUND, H.:
Determination of the physical working capacity.
A physiological and clinical study with special
reference to standardization of cardio pulmonary
functional tests.
Acta med. Scand. 132, suppl. 215, 5-78 (1948)

Anhang: Tabellen

	Leistung in Watt		Arbeitszeit in sec.		O ₂ -Schuld in 1 STPD	
	F	L	F	L	F	L
B.F.	1300	812	480	480	10,4	7,23
G.T.	1000	908	480	540	5,19	7,08
W.G.	1280	1640	420	600	10,5	12,1
S.V.	1500	1000	480	480	11,28	11,09
B.M.	1125	1000	405	480	10,61	9,89
S.M.	1170	812	450	480	9,47	9,3
B.T.	1750	1785	540	660	9,32	11,81
S.R.	1500	1435	480	600	9,39	12,42
S.H.	1280	1000	420	480	12,94	9,35
M.E.	1780	1332	570	600	8,87	12,37
A.E.	1120	765	420	420	11,22	13,63
J.J.	1625	1072	540	540	9,73	11,24
F.F.	1300	1332	480	600	9,01	13,19
M.V.	1280	1160	420	510	11,92	10,07
F.S.	1750	1150	540	540	10,16	12,49
B.A.	1200	1235	420	540	10,59	14,04

F = Fahrradergometer

L = Laufbandergometer

$\bar{X}$ XI $\bar{X}$

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung der Herzfrequenz jugendlicher Handballer vor, während und nach Körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

Laufband

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S \pm$	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S \pm$
16	Ruhe		77	12	16	Ruhe		84	14

16	1	110	14	16	1/4	145	13
16	1	112	15	16	1/4	148	12
16	2	136	16	16	1	157	11
16	2	145	18	16	1	164	11
16	3	161	15	16	2	171	9
16	3	167	15	16	2	176	10
16	4	178	12	16	3	182	9
16	4	181	12	14	3	185	9
9	5	181	5	9	4	186	7
4	5	181	5	4	4	184	6
	10			1	5	187	
	11						
	12						
16	1	165	13	16	172	7	
16	2	147	13	16	149	10	
16	3	137	11	16	129	11	
16	4	131	12	16	118	12	
16	5	121	13	16	113	13	

16	1/4	145	13
16	1/4	148	12
16	1	157	11
16	1	164	11
16	2	171	9
16	2	176	10
16	3	182	9
16	3	185	9
9	4	186	7
4	4	184	6
	5	187	

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung des diastolischen und des systolischen Blutdrucks jugendlicher Handballer, vor, in der zweiten und in der vierten Minute und in den Erholungsminuten bei körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

Laufband

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S \pm$	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S \pm$
16	Ruhe		132/88	12/12	16	Ruhe		129/79	10/4
16	1	1	150/78	16/9		1			
	2	2				2			
16	3	3	169/81	16/10		3			
	4	4				4			
	5	5				5			
	6	6				6			
	7	7				7			
	8	8				8			
	9	9				9			
	10	10				10			
	11	11				11			
	12	12				12			
	1	1				1			
	2	2				2			
	3	3				3			
	4	4				4			
	5	5				5			
	6	6				6			
16	Erholung		180/68	18/18	16	Erholung		178/56	17/11
16			171/66	18/15	16			169/60	18/9
16			162/65	19/15	16			163/64	16/11
16			156/62	16/15	16			153/62	14/12
16			139/65	14/15	16			144/69	12/12

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung des Atemminutenvolumens in 1 jugendlicher Handballer vor, während und nach Körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S \pm$	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S \pm$
16	Ruhe		11,2	2,2	16	Ruhe		11,7	2,0
16	1	1	18,7	3,1	16	1	1/4	30,1	6,0
16	2	1	25,7	4,8	16	2	1/4	51,9	9,8
16	3	2	34,1	6,6	16	3	1	61,9	10,6
16	4	2	45,2	10,1	16	4	1	68,9	12,8
16	5	3	58,7	14,3	16	5	2	78,0	15,0
16	6	3	74,4	20,4	16	6	2	89,7	19,1
16	7	4	95,6	29,4	16	7	3	103,0	22,6
16	8	4	103,9	28,2	14	8	3	118,1	30,4
9	9	5	121,0	30,0	9	9	4	125,5	20,3
4	10	5			4	10	4	135,7	9,3
	11				1	11	5	165,6	
	12					12			
16	1				16	1		105,3	17,5
16	2				16	2		74,5	15,3
16	3				16	3		54,9	12,9
16	4				16	4		40,5	11,8
16	5				16	5		32,7	12,4
16	Erholung				16	Erholung			

- IVX -

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung des Atemzugvolumen in ml jugendlicher Handballer vor, während und nach Körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

Laufband

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S \pm$ ml	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S \pm$ ml
16	Ruhe		599	133	16	Ruhe		621	144

16	1	1	896	189	16	1	1/4	1010	375
16	2	1	1163	254	16	2	1/4	1574	376
16	3	2	1359	216	16	3	1	1808	333
16	4	2	1706	286	16	4	1	1935	343
16	5	3	1892	311	16	5	2	2006	358
16	6	3	2162	364	16	6	2	2217	349
16	7	4	2274	336	16	7	3	2323	330
9	8	4	2361	408	14	8	3	2524	316
4	9	5	2535	351	9	9	4	2567	209
	10				4	10	4	2713	213
	11				1	11	5	2750	
	12					12			
	1	Erholung	2416	384	16	1	Erholung	2527	329
16	2		1991	354	16	2		2064	353
16	3		1776	330	16	3		1663	320
16	4		1528	276	16	4		1365	351
16	5		1393	265	16	5		1207	323

- XV -

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung der Atemfrequenz jugendlicher Handballer vor, während und nach körpergewichtszbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

Laufband

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S_{\pm}$	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S_{\pm}$
16	Ruhe		19	3	16	Ruhe		19	3
16	1	1	21	2	16	1	1/4	33	6
16	2	1	23	4	16	2	1/4	33	5
16	3	2	25	3	16	3	1	34	7
16	4	2	27	4	16	4	1	36	5
16	5	3	31	5	16	5	2	39	8
16	6	3	34	7	16	6	2	40	8
16	7	4	42	9	16	7	3	45	7
16	8	4	43	6	14	8	3	46	8
9	9	4	47	8	9	9	4	49	8
4	10	5			4	10	4	50	9
	11				1	11	5	60	
	12					12			
16	1	Erholung	37	5	16	1	Erholung	42	7
16	2		33	4	16	2		36	7
16	3		31	4	16	3		33	6
16	4		30	3	16	4		30	6
16	5		27	3	16	5		27	5

Laufband

Lautband				
n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S_{\pm}$ ml
16	Ruhe		382	97
16	1	686	165	16
16	1	1141	228	16
16	2	1527	246	16
16	2	1964	277	16
16	3	2369	338	16
16	3	2773	397	16
16	4	3220	460	16
16	4	3347	511	14
9	5	3765	371	9
4	5			4
				1
	12			
	10			
	9			
	8			
	7			
	6			
	5			
	4			
	3			
	2			
	1			
	2583	349	16	
	1533	200	16	
	1276	216	16	
	1150	212	16	
	993	236	16	
	Erholung			

Lautband				
n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S_{\pm}$ ml
16	Ruhe		372	85
16	1	1015	226	
16	1	2176	390	
16	2	2465	407	
16	2	2707	449	
16	3	2963	491	
16	3	3292	520	
16	4	3630	518	
16	4	3911	631	
9	5	4234	549	
4	5	4270	201	
		4350		
	12			
	10			
	9			
	8			
	7			
	6			
	5			
	4			
	3			
	2			
	1			
	3079	492		
	1884	318		
	1336	306		
	961	287		
	729	249		
	Erholung			

-XVII-

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung der relativen Sauerstoffaufnahme in ml jugendlicher Handballer vor, während und nach Körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

Laufband

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S \pm$ ml	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S \pm$ ml
16	Ruhe		5,5	1,6	16	Ruhe		5,4	1,1
16	1	1	9,7	1,8	16	1	1/4	14,3	2,9
16	2	1	16,1	2,3	16	2	1/4	30,7	4,6
16	3	2	21,7	2,7	16	3	1	35,2	5,1
16	4	2	28,1	3,2	16	4	1	38,6	5,6
16	5	3	33,7	3,2	16	5	2	42,2	5,9
16	6	3	39,6	4,4	16	6	2	46,5	6,0
16	7	4	45,8	4,5	16	7	3	51,7	6,0
9	8	4	50,5	7,5	14	8	3	55,4	7,4
4	9	5	54,3	3,4	9	9	4	61,5	9,1
	10	5			4	10	4	62,1	5,6
	11				1	11	5	60,4	
	12					12			
16	1	Erholung	36,8	3,3	16	1	Erholung	44,1	6,4
16	2		21,7	1,5	16	2		27,2	4,0
16	3		18,1	1,9	16	3		19,5	4,0
16	4		16,3	2,0	16	4		14,1	3,8
16	5		14,1	2,6	16	5		10,4	3,3

- XVIII -

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung des Sauerstoffpuls in ml jugendlicher Handballer vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

Laufband

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S \pm$ ml	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$ ml	$S \pm$ ml
16	Ruhe		5,1	1,4	16	Ruhe		4,5	1,2

16	1	6,3	1,5	16	1	1/4	7,1	1,8
16	2	10,4	2,4	16	2	1/4	14,7	2,6
16	3	11,3	1,8	16	3	1	15,7	2,5
16	4	13,6	1,9	16	4	1	16,5	2,6
16	5	14,8	1,9	16	5	2	17,3	2,6
16	6	16,7	2,1	16	6	2	18,7	2,8
16	7	18,1	2,3	16	7	3	19,8	2,7
16	8	18,9	2,4	14	8	3	21,0	3,5
9	9	20,8	2,0	9	9	4	22,6	3,1
4	10			4	10	4	23,0	1,6
	11			1	11	5	23,3	
	12				12			
16	1	15,8	2,9	16	1		17,8	3,0
16	2	10,5	1,6	16	2		12,7	2,0
16	3	9,4	1,5	16	3		10,4	2,4
16	4	8,8	1,7	16	4		8,2	2,3
16	5	8,2	1,6	16	5		6,3	1,7

Die Durchschnittswerte mit Standardabweichung des Atemäquivalents jugendlicher Handballer vor, während und nach körpergewichtsbezogener (Watt/Kg-Methode) Belastung auf dem Fahrradergometer und auf dem Laufband

Fahrradergometer

n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S_{\pm}$	n	min	Watt/ kg	$\bar{X}$	$S_{\pm}$
16	Ruhe		30,3	5,2	16	Ruhe		32,1	4,1
16	1		28,2	4,4	16	1	1/4	30,6	4,5
16	2		23,3	2,6	16	2	1/4	24,2	4,2
16	3		22,3	1,9	16	3	1	25,4	4,3
16	4		22,8	2,8	16	4	1	25,6	4,0
16	5		24,6	3,5	16	5	2	26,5	4,0
16	6		26,4	4,1	16	6	2	27,3	4,3
16	7		29,3	5,8	16	7	3	28,4	4,6
9	8		30,2	5,0	14	8	3	30,1	5,8
4	9		31,9	6,1	9	9	4	29,7	4,5
	10				4	10	4	31,9	3,3
	11				1	11	5	38,0	
	12					12			
16	1	Erholung	35,0	6,6	16	1		34,4	4,2
16	2		42,3	6,7	16	2		40,0	7,1
16	3		41,5	7,6	16	3		41,8	8,2
16	4		39,5	7,5	16	4		43,1	9,9
16	5		38,8	7,5	16	5		45,4	12,0

Laufband

Für die freundliche Überlassung des
Themas meiner Dissertation danke ich
dem Direktor des Sportmedizinischen
Forschungs- und Untersuchungszentrum
der Justus Liebig-Universität Gießen,
Herrn Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki.

Mein besonderer Dank gilt dem Untersu-
chungsteam des Sportmedizinischen
Forschungs- und Untersuchungszentrum der
Justus Liebig-Universität Gießen und
Herrn Prof. Dr. med. Paul E. Nowacki für
seine Betreuung in jeder Phase meiner
Arbeit.

